

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE ENERGIA
MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

JARDEL EUGENIO DA SILVA

**VEÍCULOS ELÉTRICOS E A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA A PARTIR DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CURITIBA

2019

JARDEL EUGENIO DA SILVA

**VEÍCULOS ELÉTRICOS E A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA A PARTIR DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de “Mestre em Engenharia Elétrica” – Área de Concentração: Automação e Sistemas de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

CURITIBA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Silva, Jardel Eugenio da

Veículos elétricos e a geração distribuída a partir de sistemas fotovoltaicos [recurso eletrônico] / Jardel Eugenio da Silva.-- 2019.
1 arquivo texto (113 f.): PDF; 6,74 MB.

Modo de acesso: World Wide Web

Título extraído da tela de título (visualizado em 11 jul. 2019)

Texto em português com resumo em inglês

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

Bibliografia: f. 110-113

1. Sistemas de energia elétrica - Dissertações. 2. Veículos elétricos. 3. Estações de carregamento da bateria (veículos elétricos). 4. Células fotovoltaicas. 5. Combustíveis para motores. 6. Máquinas elétricas. 7. Motores a gasolina - Adaptação. 8. Transformadores elétricos. 9. Motores elétricos - Adaptação. 10. Sistemas integrados de serviços de eletricidade. 11. Sistemas de energia fotovoltaica. I. Urbanetz Junior, Jair. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Sistemas de Energia. III. Título.

CDD: Ed. 23 -- 621.31

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba

Bibliotecário: Adriano Lopes CRB-9/1429

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO - 14

A Dissertação de Mestrado intitulada “**Veículos Elétricos e a Geração Distribuída a partir de Sistemas Fotovoltaicos**”, defendida em sessão pública pelo candidato **Jardel Eugenio da Silva**, no dia 14 de junho de 2019, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica, área de concentração Automação e Sistemas de Energia, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior – Presidente – UTFPR
Prof. Dr. Paulo Cícero Fritzen – UTFPR
Prof. Dr. Eduardo Kazumi Yamakawa – Institutos Lactec

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, 14 de junho de 2019.

Carimbo e Assinatura do(a) Coordenador(a) do Programa

“A sabedoria não nos é dada, é preciso descobri-la
por nós mesmo depois de uma viagem que ninguém
nos pode poupar ou fazer por nós”

Marcel Proust, 1871-1922

RESUMO

SILVA, Jardel Eugenio. **Veículos elétricos e geração distribuída partir de sistemas fotovoltaicos**. 2019. 111f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

O veículo elétrico (VE) não é uma tecnologia recente, na passagem do século XIX para o XX a maioria dos veículos automóveis eram elétricos, isso se deu devido sua confiabilidade e limpeza se comparados com os movidos por motor de combustão interna (MCI), porem com a evolução e redução do preço dos motores de combustão interna, os veículos elétricos ficaram esquecidos, e quase um século depois eles retornaram devido ao aumento significativo no preço dos combustíveis fósseis, bem como a preocupação com o meio ambiente. Este estudo aborda as atuais tecnologias existentes, as quais classificam os veículos elétricos (VEs), puro, hibrido, hibrido *plug-in*, *plug-in to grid*, as etapas de conversão de um veículo convencional para 100% elétrico, e por fim, o dimensionamento de Sistema Fotovoltaico Conectado na Rede (SFVCR) e a sua interação com o veículo elétrico. Com o aumento da acessibilidade e crescente demanda por veículos automotores movidos a combustíveis térmicos, e a poluição característica deste tipo de motor, os veículos elétricos aparecem como uma alternativa menos poluidora e se mostra cada dia mais como uma solução para os altos preços dos combustíveis utilizados nos veículos com motor a combustão interna (MCI), além de apresentarem uma série de vantagens sobre os veículos MCI, pois são mais simples e exigem menor uso e substituição de peças, reduzindo os custos de manutenção, além de não emitirem poluentes ao meio ambiente, porem uma das grandes questões dos veículos elétricos é seu custo elevado de aquisição, tornando-os inacessíveis para grande parte da população, por outro lado, a conversão de veículos convencionais para elétrico demonstrou ser uma alternativa viável. Com objetivo de comprovar se é possível converter um veículo convencional para elétrico a um custo razoável, e que tenha bom desempenho com boa relação de kWh por km rodado, foi convertido para 100% elétrico o veículo convencional da montadora Mercedes Benz, modelo Classe A 190, e após vários ensaios os resultados demonstraram ser viável sua conversão, pois o mesmo atingiu uma média de 22 centavos por quilômetro rodado a um custo de 76 centavos o kWh, podendo chegar a zero esse custo, com aproveitamento da radiação solar para gerar energia elétrica, através de painéis fotovoltaicos, além de configurar como uma solução ambientalmente sustentável. Uma das grandes questões para aplicação em centros urbanos desse meio de transporte é como suprir a demanda energética dessa nova carga no sistema elétrico. Em vista disso, esse estudo correlacionou os dados de geração de energia elétrica de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR), e percebeu-se que é possível que a energia elétrica gerada a partir desses sistemas, supra a demanda de carregamento das baterias dos veículos elétricos, configurando-se como uma forma promissora de geração de energia elétrica em centros urbanos. Por fim, a geração fotovoltaica do Carport da UTFPR mostrou-se como uma forma sustentável, limpa e eficaz de geração distribuída de energia elétrica, sendo capaz de atender as necessidades de carregamento das baterias do Eco Auto para percursos médios diários de 60 km.

Palavras chave: Veículo Elétrico; Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede; Carport.

ABSTRACT

SILVA, Jardel Eugenio. **Electric vehicles and distributed generation from photovoltaic systems**. 2019. 111f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019

The electric vehicle (VE) is not a recent technology, in the passage from the nineteenth century to the twentieth most cars were electric, this was due to their reliability and cleanliness if compared to those driven by internal combustion engine, but with the evolution and reduction of the price of internal combustion engines, the electric vehicles were forgotten, and almost a century later they returned due to the significant increase in the price of fossil fuels as well as the concern for the environment. This study addresses the current existing technologies, which classify electric vehicles (VEs), Pure, hybrid, plug-in hybrid, plug-in to grid, the steps of converting a conventional vehicle to 100% electric, and finally, the grid-connected Photovoltaic System (SFVCR) design and its interaction with the electric vehicle. With increasing accessibility and increasing demand for motor vehicles powered by thermal fuels, and the characteristic pollution of this type of motor, electric vehicles appear as a less polluting alternative and is increasingly being shown as a solution to the high prices of fuels used in vehicles with an internal combustion engine (MCI), in addition to having a number of advantages over MCI vehicles, as they are simpler and require less use and replacement of parts, reducing maintenance costs, and not emitting pollutants to the environment, but one of the major issues of electric vehicles is their high cost of acquisition, making them inaccessible to a large part of the population, on the other hand, the conversion of conventional to electric vehicles has proven to be a viable alternative. With the objective of verifying if it is possible to convert a conventional vehicle to electric at a reasonable cost, and that performs well with a good kWh per km ratio, the conventional vehicle of the Mercedes Benz model A 190 was converted to 100% electric, and after several tests the results proved to be viable, since it reached an average of 22 cents per kilometer at a cost of 76 cents per kWh, which could reach zero with the use of solar radiation to generate electricity, through photovoltaic panels, and configure it as an environmentally sustainable solution. One of the great questions for urban centers in this means of transport is how to supply the energy demand of this new charge in the electric system. This study correlated the electric power generation data of grid-connected photovoltaic systems (SFVCR), and it was possible that the electric energy generated from these systems, supposes the demand of charging the batteries of the vehicles electrical, and is a promising form of electric power generation in urban centers. Finally, the photovoltaic generation of the UTFPR Carport proved to be a sustainable, clean and efficient form of distributed generation of electric power, being able to meet the needs of charging the batteries of the Eco Auto for average daily routes of 60 km.

Keywords: Electric Vehicle; Grid-Connected Photovoltaic Systems; Carport.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Ciclos de Descarga Típicos.....	26
Figura 2. Densidade Energética e Densidade de Potência de diferentes tipos de bateria	27
Figura 3. Topologia tradicional de um BEV.	31
Figura 4. Acoplamento paralelo (esquerda). Acoplamento série (direita).....	32
Figura 5. Topologia tradicional H ₂ FCEV.....	32
Figura 6. Topologia H ₂ FCEV com driver híbrido (A).....	33
Figura 7. Topologia H ₂ FCEV com driver híbrido (B).....	35
Figura 8. Topologia H ₂ FCEV com driver híbrido (C).....	36
Figura 9. Topologia H ₂ FCEV com driver híbrido (D).....	37
Figura 10. Módulo fotovoltaico, inversor e medidor bidirecional.....	42
Figura 11. Medição bidirecional de registros independentes	44
Figura 12. Pompeu antes da revitalização	45
Figura 13. Cortes dos cantos expostos, do suporte do motor, e do Farol	46
Figura 14. Substituição da fiação elétrica, Conserto do controlador do motor	46
Figura 15. Conserto do Inversor 48VCC - 380VAC.....	46
Figura 16. Processo de pintura, Polimento do painel	47
Figura 17. Conserto acelerador, Fixação das baterias	47
Figura 18. Pompeu pronto.....	48
Figura 19. Remoção do Motor de combustão interna (MCI).....	50
Figura 20. Topologia tradicional de um BEV.	50
Figura 21. Motor BLDC 72V/10000W	51
Figura 22. Teste de eficiência motor BLDC 72V/10000W	52
Figura 23. Teste dinâmico do motor BLDC 72V/10000W.....	53
Figura 24. Controlador VE C500 -72V.....	54
Figura 25. Fixação do Controlador FOC e Periféricos.....	55
Figura 26. Banco de baterias de 10,8 kWh	56
Figura 27. Fixação do banco de baterias de 10,8 kWh	56
Figura 28. Montagem do Sistema de Carregamento das Baterias.....	57
Figura 29. Diagrama Unifilar do Sistema de Carregamento das Baterias	58
Figura 30. Caixa de proteção do carregador das Baterias	58
Figura 31. Plugue e Tomada 3P T CCA-Sibratec.....	59
Figura 32. Plugue 3P T CCA-Sibratec.....	59
Figura 33. Ligado, desligado, e time loop.....	60
Figura 34. Tempo ligado/desligado, potência no ciclo atual, e potência acumulada.	60
Figura 35. Motor acoplado a caixa de marchas.....	61
Figura 36. Acoplamento para Motor BLDC 72V/10000W	62
Figura 37. Acelerador do tipo <i>Foot Throttle</i> , modelo FSC-010.....	63
Figura 38. Suporte do pedal do acelerador	63
Figura 39. Painel de comandos.....	64
Figura 40. Comandos desligado.....	65
Figura 41. Comandos ligado	65
Figura 42. Instalação de leds da cor azul.....	66
Figura 43. Adaptação do medidor digital de carga	67
Figura 44. Painel de medição pronto.....	67
Figura 45. Telas do aplicativo de segurança.....	68
Figura 46. Eco Auto vista interna	69
Figura 47. Eco Auto vista externa	69
Figura 48. Medidor de consumo de energia	72

Figura 49. Motor de 20 kW modelo HPM20KL.....	73
Figura 50. Acoplamento para motor de 20 kW	74
Figura 51. Motor de 20 kW acoplado a caixa de marchas	74
Figura 52. Teste de eficiência motor BLDC 72V/20.000W	75
Figura 53. Elementos do sistema de arrefecimento	76
Figura 54. Controlador FOC – 1kW até 20 kW.....	76
Figura 55. Banco de baterias 15,1 kWh	77
Figura 56. Dobra dos isoladores	77
Figura 57. Isoladores instalados nas baterias	78
Figura 58. Novo carregador com fonte 12V 10A e <i>wi-fi</i>	79
Figura 59. Novo carregador de baterias.....	79
Figura 60. Medidas em milímetros do Plug Conector J1772.....	81
Figura 61. Plug Conector J1772.....	81
Figura 62. Plug Conector J1772 acoplado no Socket	82
Figura 63. Diagrama de conexão Socket J1772.....	83
Figura 64. Diagrama de conexão Plug/Socket J1772	84
Figura 65. Diagrama de bloco do Plug/Socket J1772	84
Figura 66. Socket J1772	85
Figura 67. Socket J1772 instalado no Eco Auto.....	85
Figura 68. Eco Auto vista interna	86
Figura 69. Eco Auto vista externa (1)	86
Figura 70. Eco Auto vista externa (2)	87
Figura 71. Eco Auto vista externa (3)	87
Figura 72. Mapa da localização.....	90
Figura 73. Resultado Plano sem inclinação	92
Figura 74. Resultados Plano Inclinado em 25 ⁰ e 35 ⁰	93
Figura 75. Curva de eficiência do inversor	96
Figura 76. Geração anual atingida em 12 meses.....	98
Figura 77. Geração anual atingida 10 meses de 2018.....	99
Figura 78. Geração anual atingida 3 meses de 2019.....	99
Figura 79. Triangulo vertical	100
Figura 80. Porcas e Parafusos para fixação	100
Figura 81. Conexão do cabeamento	101
Figura 82. Programação inversor Fronius	101
Figura 83. Diagrama Unifilar.....	102
Figura 84. Monitoramento através de aplicativo.....	102
Figura 85. Coleta de dados de Irradiação	105
Figura 86. Eco Auto sendo recarregado no Carport.....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Consumo dos veículos híbridos <i>plug-in</i>	29
Tabela 2. Tarifa Convencional - subgrupo B1	29
Tabela 3. Componentes da topologia dos veículos elétricos	30
Tabela 4. Análise do fluxo de potência topologia BEV	31
Tabela 5. Análise do fluxo de potência topologia H ₂ FCEV.....	33
Tabela 6. Análise do fluxo de potência topologia H ₂ FCEV com driver híbrido (A).....	34
Tabela 7. Análise do fluxo de potência topologia H ₂ FCEV com driver híbrido (B).....	35
Tabela 8. Análise do fluxo de potência topologia H ₂ FCEV com driver híbrido (C)	36
Tabela 9. Análise do fluxo de potência topologia H ₂ FCEV com driver híbrido (D)	37
Tabela 10. Produção Conhecida e Implementações de Protótipo.....	38
Tabela 11. Componentes da topologia adotada na conversão	49
Tabela 12. Simbologia adotada.....	64
Tabela 13. Autonomia do Eco Auto com motor 10kW	70
Tabela 14. Autonomia do Eco Auto com motor 20kW	88
Tabela 15. Autonomia do Eco Auto com motor 10kW X 20kW	88
Tabela 16. Histórico de Consumo nos últimos 12 meses (kWh)	91
Tabela 17. Radiação Incidente Global horizontal (kWh/m ² dia).....	91
Tabela 18. Radiação Incidente no Plano Inclinação Leste (Wh/m ² dia)	92
Tabela 19. Radiação Incidente no Plano Inclinação Oeste (Wh/m ² dia)	92
Tabela 20. Parâmetros elétricos dos módulos fotovoltaicos.	104
Tabela 21. Informações técnicas do inversor Fronius Primo 5.0-1.....	105
Tabela 22. Irradiação global horizontal(kWh/m ² .dia)	106
Tabela 23. Irradiação Mensal no Plano Inclinação (kWh/m ² .mês)	106
Tabela 24. Expectativa de Geração Mensal(kWh/mês).....	106
Tabela 25. Interação entre SFVCR com Eco Auto.....	107

LISTA DE SIGLAS

CO ₂	Dióxido de Carbono
MCI	Motor de Combustão Interna
Km/h	Quilômetro por hora
kW	Quilowatt
NiMH	Níquel-Hidreto Metálico
VE	Veículo Elétrico
DC	Corrente Direta (continua)
AC	Corrente Alternada
Li-ion	Lítio-íon
CV	Cavalo Vapor
PHEVs	Veículos Híbridos Plug-in
FV	Foto Voltaica
SFVCR	Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede Elétrica
PEVs	Plug-in Electric Vehicles
NEDC	<i>New European Driving Cycle</i>
V2G	<i>Vehicle-to grid</i>
BIPV	<i>Building-integrated Photovoltaics</i>
BEV	Veículo Elétrico a Bateria

LISTA DE ACRÔNIMOS

ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
ABIPTI	Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PRONAR	Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar
PROCONVEI	Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	15
1.2 OBJETIVOS	18
Objetivo Geral	18
Objetivos Específicos	18
1.3 JUSTIFICATIVA	19
1.4 METODOLOGIA DE PESQUISA	19
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS	21
2.1.1 Motores elétricos	23
2.1.1.1 Como são construídos os Motores Elétricos	24
2.1.2 Acumuladores de energia (baterias)	25
2.1.3 Híbridos plug-in	27
2.1.4 Topologia dos veículos elétricos (VEs)	29
2.1.4.1 Topologia tradicional veículo elétrico puro	30
2.1.4.2 Topologia tradicional dos veículos elétricos híbridos (PHVEs)	31
2.1.4.2.1 Topologia tradicional H ₂ FCEV	32
2.1.4.2.2 Topologia H ₂ FCEV com driver híbrido (A)	33
2.1.4.2.3 Topologia H ₂ FCEV com driver híbrido (B)	34
2.1.4.2.4 Topologia H ₂ FCEV com driver híbrido (C)	36
2.1.4.2.5 Topologia H ₂ FCEV com driver híbrido (D)	37
2.1.5 Produção conhecida e implementações de protótipo	38
2.1.6 Veículos elétricos to grid (V2G)	39
2.1.6.1 Arquiteturas dos veículos elétricos V2G	39
2.2 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR SFVCR	40
2.2.1 Composição de um SFVCR	42
2.2.1.2 Painel Fotovoltaico	43
2.2.1.3 Inversores	43
2.2.1.4 Medição bidirecional	43
3 REVITALIZAÇÃO DO VE POMPEO DA UTFPR	45
3.1 ETAPA 1: ASPECTOS FUNCIONAIS	45
3.2 ETAPA 2: INÍCIO DA FUNILARIA	45
3.3 ETAPA 3: FIAÇÃO E PAINEL DE CONTROLE	46
3.4 ETAPA 4: PROCESSO DE PINTURA	46
3.5 ETAPA 5: CONserto DO ACELERADOR E FIXAÇÃO DAS BATERIAS	47
3.6 ETAPA 6: POLIMENTO E FINALIZAÇÃO DO VE PÔMPEU	47
4 CONVERSÃO DE UM VEICULO CONVENCIONAL PARA VE	49
4.1 ASPECTOS FUNCIONAIS E MATERIAS NECESSÁRIO	49
4.2 TOPOLOGIA ADOTADA NA CONVERSÃO	50
4.3 MOTOR ADOTADO NA CONVERSÃO	51
4.3.1 Curva de Eficiência x Torque	52
4.3.2 Testes Dinâmico	52
4.4 CONTROLADOR FOC ADOTADO NA CONVERSÃO	54
4.4.1 Plataforma de fixação do Controlado FOC e Periféricos	55
4.5 ACUMULADOR 10,8 KWH (BATERIA) UTILIZADO NO ECO AUTO	55
4.5.1 Sistema de Carregamento das Baterias	56
4.5.2 Plug 3P T – Vermelho 380VAC/32A	58

4.5.2.1 Controle e Monitoramento de Carga	59
4.6 TRANSMISSÃO DE RELAÇÃO VARIÁVEL ADOTADO NA CONVERSÃO	61
4.6.1 Acoplamento do Motor x Caixa de Marchas	61
4.7 ACELERADOR ADOTADO NA CONVERSÃO	62
4.7.1 Características do Acelerador adotado na conversão	62
4.7.1.1 Adaptação do acelerador no Eco Auto	63
4.8 CONSTRUÇÃO PAINEL DE COMANDOS E DE MEDIÇÃO DO ECO AUTO	63
4.8.1 Painel de Comandos pronto	64
4.8.1.1 Aplicativo utilizado para substituir painel de comandos manual	65
4.8.2 Painel de medição pronto	66
4.9 SISTEMA DE SEGURANÇA	67
4.10 CONCLUSÃO DO ECO AUTO	68
4.11 AUTONOMIA DO ECO AUTO	70
4.11.1 Método adotado nos ensaios	70
4.11.2 Medição de consumo de energia por km rodado	71
5 UPGRADE DO ECO AUTO	73
5.1 NOVO MOTOR BRUSHLESS	73
5.1.1 Novo motor acoplado na caixa de marchas	74
5.1.2 Curva de Eficiência x Torque	75
5.1.3 Radiador de água	75
5.2 NOVO CONTROLADOR FOC	76
5.3 ACUMULADOR 15,1 KWH (BATERIA) UTILIZADA NO ECO AUTO	76
5.3.1 Isolador dos polos das Baterias	77
5.3.2 Sistema de Carregamento do Banco de Baterias de 15,1 kW	78
5.3.3 Plug Conector AC J1772	80
5.3.3.1 Socket AC J1772	82
5.4 CONCLUSÃO DO ECO AUTO PÓS - UPGRADE	85
5.5 AUTONOMIA DO ECO AUTO APÓS UPGRADE	88
5.6 CONSIDERAÇÕES	89
6 INSTALAÇÃO E MONITORAMENTO DE UM SFVCR	90
6.1 LOCALIZAÇÃO	90
6.2 CONSUMO DE ENERGIA	91
6.3 POTENCIAL DE ENERGIA	91
6.4 DIMENSIONAMENTO DO PAINEL FOTOVOLTAICO	93
6.4.1 Potência do Painel Fotovoltaico (<i>PFV</i>)	93
6.4.1.1 No plano Oeste (25°):	94
6.4.1.2 Área necessária para instalar painel fotovoltaico (<i>PFV</i>)	94
6.4.2 Características dos equipamentos escolhidos	95
6.4.3 Dimensionamento dos condutores	96
6.4.3.1 Área da seção transversal dos condutores de CC (mm ²)	97
6.4.3.2 Área da seção transversal dos condutores de CA (mm ²)	97
6.4.4 Índices de mérito do Painel Fotovoltaico (<i>PFV</i>)	98
6.4.5 Montagem do Painel Fotovoltaico (<i>PFV</i>)	99
6.4.5.1 Fixação do Painel Fotovoltaico (<i>PFV</i>)	100
6.4.5.2 Cabeamentos do Painel Fotovoltaico (<i>PFV</i>)	100
6.4.5.3 Programação do inversor	101
6.4.6 Diagrama Unifilar do Gerador Fotovoltaico	102
6.4.7 Monitoramento através de aplicativo	102
6.5 COBERTURAS INDEPENDENTES	103
6.5.1 Carport Solar	103
6.5.1.1 Módulos Fotovoltaicos	103
6.5.1.2 Inversor – Fronius Primo 5.0-1	104

6.5.2 Estimativa de Geração do Carport	105
6.6 INTERAÇÃO SFVCR COM ECO AUTO	106
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	108
7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	108
REFERÊNCIAS.....	110

1 INTRODUÇÃO

Os primeiros veículos que aparecem nos anais da história eram movidos a eletricidade datam dos finais da década de 20, início da década de 30 do sec. XIX, associados a nomes como os do húngaro Ánios Jedlik e do escocês Robert Davidson. A partir das duas últimas décadas do século XIX, devido o avanço da tecnologia dos motores elétricos e das baterias, houve uma grande invasão de protótipos nas ruas, marcando o início da exploração industrial das “carruagens sem cavalos”, como eram chamados os automóveis na época. Desde então milhares de veículos movidos a eletricidade armazenadas em baterias de chumbo foram criados, desenvolvidos, vendidos e usados, tanto nos Estados Unidos como na Europa (MARTINS e BRITO, 2011).

Nos primórdios da indústria automotiva os carros elétricos tinham grandes vantagens em comparação com os carros com motor a combustão interna (MCI) e os a vapor, pois eram limpos de operar, fiáveis, relativamente potentes e a autonomia não era problema na época, pois não havia estradas asfaltadas e as locomoções se davam dentro de localidades e em curtas distâncias, e também os veículos elétricos não necessitavam das problemáticas caixas de marchas e embreagens, as quais necessitavam os veículos com motor a combustão interna (MCI). O motor elétrico era também muito mais limpo, eficiente e fiável que o motor a combustão equivalente, e sem os problemas de partida, pois um veículo de combustão podia necessitar até 45 minutos para funcionar em tempo frio. Grandes engenheiros da indústria automotiva como Ferdinand Porsche, iniciaram-se na indústria de automóvel com criações de carros movidos a energia elétrica, como o primeiro híbrido, o primeiro motor-in-wheel, e o primeiro com tração 4X4, também o primeiro veículo (*La Jamais Contente*) a ultrapassar a barreira dos 100 Km/h era elétrico, os primeiros táxis (sem tração animal) também eram elétricos. No virar do século já existiam muitas marcas fabricando veículos elétricos para uso particular e comercial, em número significativamente superior aos veículos com motor a combustão interna. No início do século XX parecia que o futuro pertencia aos carros elétricos, com grandes marcas produzindo-o, como a Baker, Columbia, Detroit Electric (produzir 35mil unidades até a grande Guerra), Woods Milburn e Studebaker, mas passados poucos anos, as evoluções dos motores a combustão interna, entre elas, a invenção do motor de arranque elétrico em 1912, e a produção em série do Ford T, impuseram-se de tal modo que no início dos anos 20

existia poucos veículos elétricos em circulação, isso se deu também devido as novas estradas entre as cidades tornando os veículos elétrico inútil por não terem autonomia suficiente (MARTINS e BRITO, 2011).

Como citado anteriormente a história dos veículos elétricos sempre esteve atrelado a fonte de energia, ou a falta dela, seja na autonomia dos acumuladores (baterias), como na eficiência dos motores, nos dias atuais os veículos elétricos estão bem evoluídos com autonomies de 60 km (Volteis X4), a 426 Km (Tesla S) (MEUNIER, 2012), porém surge um novo problema, à necessidade de suprir a demanda energética desta nova carga no sistema elétrico, uma alternativa sustentável seria a utilização de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFVCR), pois permitem a geração de energia de modo distribuído, ou seja, no próprio local onde será consumida, tanto para o carregamento das baterias dos veículos elétricos quanto para injetar na rede, colaborando assim com o desempenho da rede em que se encontram conectados. Além disso, esses sistemas não necessitam de novas áreas para instalação, pois estes fazem uso de espaços já existentes, como as coberturas das edificações para as quais gerarão energia (REBECHI, 2008).

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

O veículo elétrico é o futuro, e com ele surge o problema em suprir a demanda energética desta nova carga no sistema elétrico. De acordo com BARAN (2012), a utilização de energia elétrica por automóveis permitiria uma redução do consumo de gasolina de 40,7% em 2031, acompanhado por um aumento do consumo de eletricidade de 42,1% em relação às projeções oficiais. Como parte da solução proposta nessa dissertação seria o aproveitamento da irradiação solar para gerar energia elétrica.

Segundo Urbanetz Junior (2010),

A irradiação solar é uma energia que está disponível e deve ser aproveitada de todas as formas possíveis. Entre estas formas de aproveitamento, a conversão da irradiação solar em energia elétrica através dos módulos fotovoltaicos é uma das mais promissoras técnicas de geração de energia elétrica [...].

A utilização de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR) é uma alternativa sustentável de produção de energia elétrica, pois permite a geração de energia no próprio local onde será consumida, e injetar o excedente na rede de distribuição, colaborando com o desempenho sistema, e esses sistemas não necessitam de novas áreas para instalação, pois estes fazem uso de espaços já existentes, como as coberturas das edificações para as quais gerarão energia (REBECHI, 2008). Rüter (2015), complementa, a energia fotovoltaica integrada à construção (*Building-integrated Photovoltaics* (BIPV)), pode ajudar a redes de distribuição urbana, quando há uma interação entre a disponibilidade de recursos de irradiação solar e demanda de eletricidade, sendo relevante em áreas urbanas, onde o ar condicionado é a carga predominante e geração no local um recurso bem-vindo.

Segundo o IBGE (2010), a maior causa da poluição do ar no Brasil não são os gases que as indústrias emitem e sim a poluição dos carros. Atualmente, cerca de 60% da poluição atmosférica nas grandes cidades é gerada por veículos automotores movidos a combustíveis fósseis (CPqD, 2015). O gás carbônico liberado pela queima de combustíveis térmicos, além prejudicial à saúde, também é uma das principais causas do aquecimento global. Estudos realizados pela organização mundial da saúde (OMS) indica que, para evitar um aumento de mais de 2°C na temperatura média global, as emissões de CO₂ não devem atingir a 32,6 bilhões de toneladas ao ano, e esse valor está previsto a ser atingido em 2017 (CPqD, 2015).

[...] Para a maior parte das regiões metropolitanas, a maioria dos poluentes apresenta tendência estacionária ou de declínio das concentrações máxima e média observadas com o tempo. Este resultado decorre, ao menos em parte, de programas como o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar - PRONAR e o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE, voltados à redução das concentrações de poluentes na atmosfera nos grandes centros urbanos. O declínio de concentrações é mais acentuado e evidente para os particulados (PTS e PM₁₀), provavelmente reflexo do controle das emissões veiculares, das mudanças tecnológicas nos motores e da melhoria na qualidade dos combustíveis. Apesar disto, os valores de concentração anual média de PTS e PM₁₀ são ainda muito elevados para algumas cidades e regiões metropolitanas (Curitiba, Distrito Federal e Vitória). Ao contrário do observado para SO₂ e NO₂, as concentrações anuais médias de PTS e PM₁₀ em algumas regiões metropolitanas estão acima do padrão primário do CONAMA. No caso do Distrito Federal, os elevados valores de PTS refletem, provavelmente, as condições climáticas locais e a ocorrência de queimadas no entorno de Brasília durante a estação seca. A mais evidente exceção à tendência de queda nas concentrações máximas é mostrada pelo ozônio. Este poluente é de difícil controle, sendo gerado, na baixa atmosfera, por reações fotoquímicas entre óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, ambos oriundos da queima de combustíveis fósseis. O aumento da frota de veículos automotores nas grandes cidades brasileiras dificulta o controle das concentrações do O₃ (IBGE, 2010, p.32).

Nos veículos elétricos puro (BEVs), o motor de combustão interna (MCI), é substituído por um motor elétrico, o qual utiliza energia de baterias recarregáveis para se movimentar em vez de gasolina ou outros combustíveis térmicos, sendo assim os BEVs não produzem emissões de gases, e o custo do quilômetro rodado é bem significativo comparado com motor a combustão interna (MCI), podendo chegar a zero com adaptação a um sistema de recarga alimentado unicamente pela energia solar. Segundo STEPHEN (2013), o BEV é a maneira mais eficiente de usar eletricidade renovável em um veículo, mas suas limitações de alcance (distância percorrida com a carga plena das baterias) e tempos de recarga limitam os tipos de modos de condução, e só um simples aumento no tamanho da bateria pode não resolver o problema, mesmo se o custo for viável, pois além de um certo tamanho, a massa dos componentes estruturais para suportar uma bateria maior se torna um fator negativo na eficiência do veículo.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo Geral

Analisar o desempenho de veículos elétricos no quesito consumo energético, e dimensionar um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR) capaz de atender a esse consumo em determinados cenários de utilização.

Objetivos Específicos

- Realizar a fundamentação e o embasamento teórico sobre veículos elétricos e sistemas fotovoltaicos.
- Levantar os dados de consumo energéticos de VEs;
- Revitalizar o protótipo POMPEU (veículo elétrico);
- Converter um veículo convencional para 100% elétrico, e realizar ensaios;
- Dimensionar um SFVCR capaz de suprir a demanda energética do veículo elétrico;
- Implementar o SFVCR projetado e levantar os valores de produção energética;
- Realizar ensaios e verificar a interação SFVCR com VE.

1.3 JUSTIFICATIVA

É indiscutível que o veículo elétrico se mostra cada dia mais como uma solução para os diversos problemas de poluição produzidos pelos veículos à combustão. Porém, uma das grandes questões para aplicação em centros urbanos desse meio de transporte é como suprir a demanda energética dessa nova carga no sistema elétrico. A solução proposta nesse estudo seria a conversão da irradiação solar em energia elétrica através de módulos fotovoltaicos, com uma demanda de geração que supra o carregamento das baterias dos veículos elétricos para percursos médios diários de 60 km. É importante ressaltar que após diversas pesquisas as fabricantes chegaram a conclusão que 60 km por dia é, em média, a distância percorrida pelos condutores para cumprirem as respectivas atividades cotidianas nos centros urbanos, segundo *European Commission; Joint Research Centre; Institute for Prospective Technological Studies*, essa média varia de 40 km (Reino Unido) para uma média de 80 km (Polónia).

Com intuito de analisar o desempenho e traçar uma curva característica entre quilowatt-hora (kWh) e quilômetro (km) rodado de um veículo elétrico, foi convertido um veículo Mercedes Benz Classe A 190 para 100% elétrico, que passa a ser denominado de Eco Auto, e dimensionado um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR) capaz de atender seu consumo energético para rodar percursos médios diários de 60 km.

1.4 METODOLOGIA DE PESQUISA

Para o desenvolvimento da linha temática proposta neste, primeiramente foram realizada uma pesquisa bibliográfica de natureza descritiva, com abordagens baseadas em dados e informações sobre a eficiência energética nas diversas topologias existentes dos veículos elétricos classificados como: puros, híbridos, híbridos plug-in, plug-in na configuração *to grid* (V2G). A etapa seguinte, foram realizados ensaios práticos no Eco Auto, analisando o quesito consumo energético em determinado cenário de utilização, utilizando o seguinte método, após carga plena do banco de baterias (*charge depleting*), foram percorridos vários quilômetros em cenários diferentes, sendo, no centro da cidade, na rodovia, e em cenário controlado (local fechado sem interferência externa), após cada cenário de utilização foi

recarregado o banco de baterias e medido a quantia de energia necessária para retornar ao modo *charge depleting* (carga Plena) assim, foi obtido o consumo energético quilowatt-hora por quilômetro rodado em cada cenário. Na sequência foi realizado a interação do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica e o veículo elétrico (SFVCR x VE) nos quesitos consumo de energia, concomitantemente a pesquisas teóricas bibliográficas e registrado as conclusões desse estudo.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do trabalho está dividida da seguinte forma: Capítulo 1 - Introdução geral, contextualização do problema, os objetivos tanto gerais como específicos, justificativa e o método de pesquisa. Capítulo 2 - Destinado à revisão bibliográfica, a qual trará o embasamento teórico sobre veículos elétrico e sistemas fotovoltaicos, tecnologias comercialmente disponíveis e seus principais componentes. Capítulo 3 – Traz as etapas de revitalização do protótipo POMPEU (veículo elétrico). Capítulo 4 - Apresenta as etapas de conversão de um veículo convencional da marca Mercedes Bens modelo Classe A 190 para 100% elétrico, e os ensaios neste VE. Capítulo 5 - As etapas do *upgrade* do Eco Auto. Capítulo 6 - Nesse capítulo são apresentadas as etapas de instalação e monitoramento de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (SFVCR). Capítulo 7 - Finalmente, o último capítulo está reservado para serem expostas as considerações finais e sugestões para futuras pesquisas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta conceitos sobre: veículos elétricos (VEs), motores elétricos, acumuladores de energia elétrica (baterias), topologias dos VEs existentes, e a geração de energia elétrica por sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (SFVCR). Devido à grande quantidade de topologias existentes, optou-se nesse referencial teórico abordar somente as topologias dos veículos elétricos que tenha produção conhecida e implementações de protótipo, classificados como veículos elétricos: puro, híbrido, híbrido *plug-in*, *plug-in* na configuração *to grid* (V2G); sendo que se considera puro o veículo elétrico que não possui outra alternativa de abastecimento, ou seja, somente energia elétrica advinda de fontes externas ao veículo, (exceto, os que possuem frenagens regenerativa); na topologia híbrido, o veículo possui uma fonte geradora de energia elétrica (gerador) no próprio veículo a qual fornece energia para os acumuladores de energia, essa fonte pode ser abastecida por combustíveis térmicos, ou célula de combustível; e na topologia híbrido *plug-in*, o veículo possui uma fonte geradora de energia elétrica (gerador) no próprio veículo a qual pode ser abastecido por combustíveis térmicos, ou célula de combustível, e possui também a opção ser abastecido de energia elétrica advinda de fontes externas ao veículo, e na configuração *to grid* (V2G), os veículos elétricos podem fornecer energia de seus acumuladores para rede elétrica.

2.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS

O veículo elétrico não é uma tecnologia recente, na passagem do século XIX para o XX a maioria dos veículos automóveis eram elétricos, isso se deu devido sua fiabilidade e limpeza se comparar-se com os movidos por motor de combustão interna (MCI), porém com a evolução e redução do preço dos motores de combustão interna, os carros elétricos ficaram esquecidos por quase um século. Quando houve aumento significativo no preço dos combustíveis fósseis, e também com a preocupação com o meio ambiente, fazendo-o ressurgir (MARTINS e BRITO, 2011).

Segundo BARAN (2011),

Ao contrário do que muitas pessoas acreditam, a tecnologia dos automóveis híbridos e elétricos não representa uma inovação tecnológica recente. Embora haja certamente avanços tecnológicos importantes nos veículos elétricos atuais, como as baterias de íon de lítio e toda a tecnologia digital presente nos carros modernos, em essência o conceito básico se mantém. Ou seja, não houve mudanças radicais nos motores elétricos de hoje, nem mesmo na utilização da energia cinética gerada pelo movimento do veículo. [...] desde o lançamento do Toyota Prius, em 1997, verifica-se no mercado norte-americano um número cada vez maior de lançamentos de automóveis híbridos e, mais recentemente, de veículos puramente elétricos (EVs), esse fato pode ser atribuído em grande parte ao incentivo do governo americano aos fabricantes e consumidores de veículos híbridos e elétricos.

Em um automóvel convencional verifica-se que o principal componente de locomoção seria o motor de combustão interna (MCI), esquecendo o tanque de combustível. Porém, no veículo elétrico (VE), são as baterias (ou acumuladores de energia), o controlador e o motor elétrico (MARTINS e BRITO,2011).

Os VEs apresentam uma série de vantagens em relação aos veículos com motor de combustão interna (MCI), pois são mais simples e demandam menos utilização e substituição de peças e partes, além de não emitir poluentes ao meio ambiente. Como resultado, os veículos elétricos apresentam menor custo de manutenção, porém o seu custo de produção ainda é bastante superior, principalmente na fabricação das baterias, e atualmente apresentarem-se como um dos grandes desafios tecnológicos a serem superados (CPqD, 2015).

Carros movidos exclusivamente utilizando energia elétrica de bateria agora representam porções significativas das frotas de veículos dos países desenvolvidos e alguns dos países em desenvolvimento. O aumento na quantidade destes veículos que estão substituindo as alternativas de motor a combustão interna (MCI) quer com veículos elétricos puro ou híbrido, tem atraído a atenção de pesquisadores que buscam entender quais os fatores que condicionam a um ritmo muito lento o seu desenvolvimento, e sem muito progresso. CHAN (2010), afirma que para produção e comercialização ser bem-sucedida os VEs têm que superar muitos desafios, entre eles, um modelo de produção que reduza o custo das baterias, nos últimos anos, tem havido uma proliferação de artigos científicos que discutem os progressos realizados pelo desenvolvimento desta indústria, considerando estes fatores para as economias desenvolvidas e em desenvolvimento.

Karlsson e Jonson (2010), por exemplo, investigaram um híbrido plug-in de design de veículo (PHEV) em uma cidade de tamanho médio na Suécia. Xonghu (2010) analisou as deficiências no setor de energia da introdução de

EVs na China. Du, Ouyang e Wang (2010) estudaram soluções de negócios para a penetração em massa de veículos elétricos de primeira geração na China. Wong, Lu e Wang (2010) estudaram a adoção de diferentes tecnologias para EVs em Cingapura. Kudoh e Motose (2010) estudaram as preferências dos consumidores japoneses por EVs (HAMED; HUANG, 2013).

2.1.1 Motores elétricos

O motor elétrico é uma máquina que transforma a potência elétrica em potência mecânica, com reduzida porcentagem de perdas. Quando o motor elétrico é ligado, ele absorve certa quantidade de energia elétrica e a transforma em torque ou seja potência mecânica, este princípio de converter energia em trabalho é o mesmo de um motor de um automóvel, chamado de motor de combustão interna (MCI), a diferença é que o MCI é alimentado por combustíveis térmicos, nos quais utiliza 20% de sua energia para transformar em torque ou seja potência mecânica, os outros 80% é perdida através de calor, força para girar gerador, bombas, etc. Em uma palestra proferida no centro de divulgação científica e cultural-USP, out. 2000, Gonzales (2000), citou a eficiência do aproveitamento da energia química contida no combustível,

[...] eficiência do aproveitamento da energia química contida no combustível. A maior parte da energia liberada na combustão direta, como a que ocorre na queima de combustível no motor dos automóveis ou nas usinas termoelétricas, está na forma de calor. O movimento do carro ou do gerador é o resultado da expansão que este calor provoca nos gases, dentro dos motores, ou do vapor de água na termoelétrica. Nos dois casos apenas uma pequena parcela (aproximadamente 20%) da energia química pode ser aproveitada como energia mecânica ou como energia elétrica. A maior parte da energia é simplesmente liberada no meio ambiente na forma de calor, o que também é uma forma de poluição [...].

Embora os motores elétricos sejam máquinas mais eficientes comparativamente com os motores de combustão interna, MARTINS e BRITO (2011), complementa “o aumento de seu rendimento permitirá o aumento da autonomia do veículo ou a diminuição do número de baterias”.

2.1.1.1 Como são construídos os Motores Elétricos

Os motores elétricos são constituídos de duas partes, o rotor que é a parte móvel (girante) e o estator ou carcaça que é a parte fixa, e são classificados em dois grupos, de acordo com o tipo de tensão que o alimenta:

- Motor de Corrente Alternada (AC);
- Motor de Corrente Contínua (DC).

Tanto os Motores de Corrente Alternada (AC), quanto os Motores de Corrente Contínua (DC), podem possuir excitação única ou dupla, sendo ela no seu estator ou no seu rotor, ou ambos, ou seja, no rotor e no estator, no caso de ambos, ele pode trabalhar em regime de motor ou em regime de gerador elétrico. Construtivamente o motor DC é composto de duas estruturas magnéticas:

- Estator (enrolamento de campo ou ímã permanente) e
- Rotor (enrolamento de armadura).

O estator é composto de uma estrutura ferromagnética com polos salientes aos quais são enroladas as bobinas que formam o campo, ou de um ímã permanente.

O rotor é um eletroímã que possui um núcleo de ferro com bobinas de espiras em sua superfície que são alimentados por um sistema mecânico de comutação, formado por um comutador, ligado ao eixo do rotor, que possui uma superfície cilíndrica com diversas lâminas às quais são conectados os enrolamentos do rotor, e por escovas fixas, que exercem pressão sobre o comutador e que são ligadas aos terminais de alimentação. A função do comutador é inverter a corrente na fase de rotação apropriada de forma a que o conjugado desenvolvido seja sempre na mesma direção. A inversão é necessária a cada 180° , dando continuidade ao movimento rotativo do motor. Os dois lados de cada bobina são inseridos em ranhuras com espaçamento igual ao da distância entre dois polos do estator, para que quando os condutores de um lado estiverem sob o polo norte, os condutores do outro devem estar sob o polo sul. As bobinas são conectadas em série através das lâminas do comutador, com a finalidade da última ser conectada ao início da primeira, de modo que o enrolamento não tenha um ponto específico (KOSOW, 2005, p.38-50).

2.1.2 Acumuladores de energia (baterias)

A tecnologia de armazenamento de eletricidade, teve seus primórdios no século XVIII, com o primeiro condensador, a garrafa de Leiden (1745), e a pilha de Volta (1800), mas somente em 1859 com a invenção das baterias recarregáveis de chumbo-ácido por Gaston Planté, e seu posterior aperfeiçoamento por Camille Alphonse Faure em 1881, é que possibilitaram a proliferação de veículos elétricos autônomos (MARTINS e BRITO, 2011).

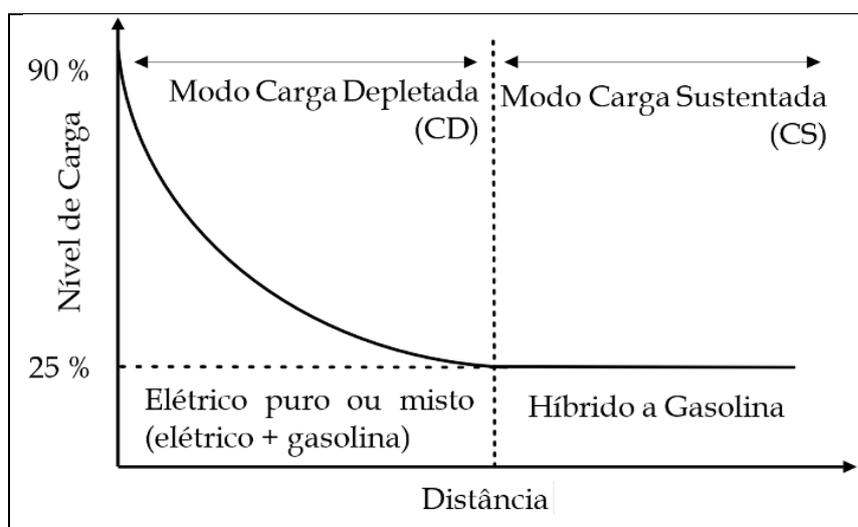
Segundo PINHO e GALDINO (2014, p. 179-203), as baterias de chumbo ácido, são as que apresentam menor custo por Watts hora (Wh) para utilização em sistemas fotovoltaicos isolados (SFIs), e as de Li-íon por apresentarem altas densidades energéticas, entre 80-150 Wh/kg, tem sido utilizada em veículos elétricos (VEs).

As principais características das baterias e super capacitores que são determinantes para veículos elétricos, são a capacidade de potência (medida em kW) e a energia armazenada (medida em kWh). Ambos dependem de variáveis como o alcance no modo CD (*charge depleting*), o tipo de operação no modo CD (elétrico puro ou misto), o ciclo de direção, o *design* do veículo e o tipo de recarga, entre outros (BARAN, R. 2012).

A potência é a taxa de transferência de energia. Nos automóveis convencionais, a potência é proporcional à taxa com que a gasolina é fornecida ao motor de combustão interna (MCI), sendo que quanto mais se acelera um automóvel, mais gasolina é consumida (BARAN, R. 2012), já nos veículos elétricos (VEs), quando aumenta a aceleração, aumenta a retirada de energia da fonte (bateria) e entrega ao motor, aumentando sua rotação (CPqD, 2015). A potência da bateria é um fator crítico para os automóveis elétricos, cuja performance é limitada por quantos kW a bateria é capaz de fornecer (PINHO e GALDINO, 2014).

A capacidade de armazenamento, medida geralmente em kWh, é a característica que determina a distância que pode ser percorrida no modo CD e o peso do sistema de baterias, e está relacionada com a quantidade de energia que a bateria é capaz de armazenar. Deve-se frisar que há uma distinção entre a energia disponível e a energia total armazenada na bateria, ilustrado na figura 1.

Figura 1. Ciclos de Descarga Típicos

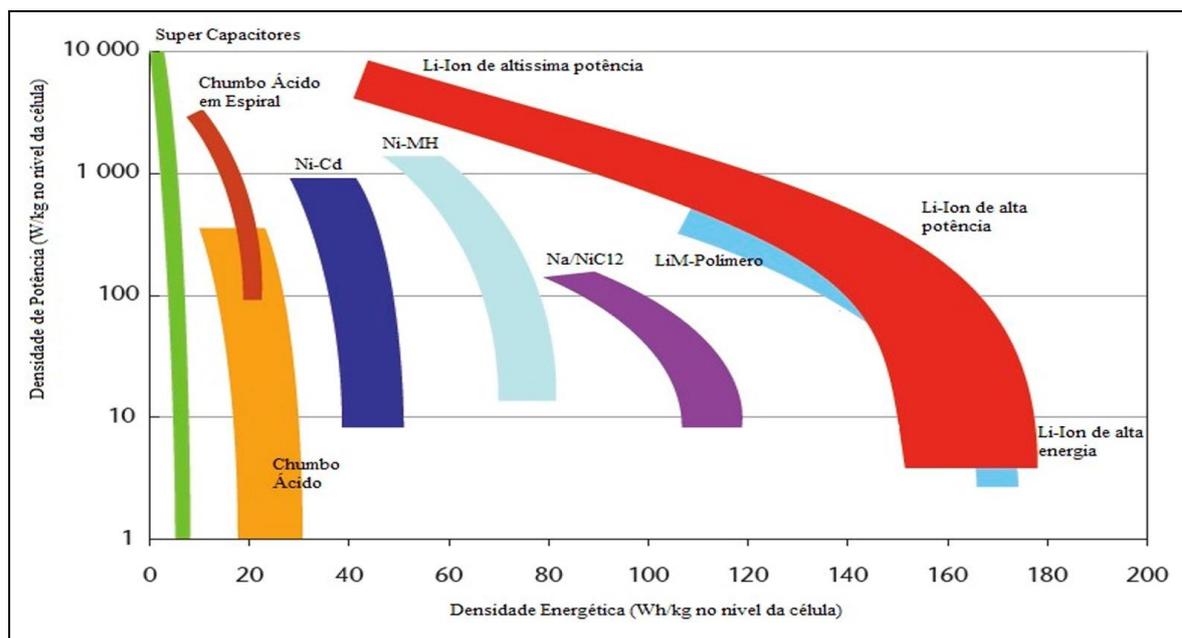


Fonte: Adaptado Electrification Coalition, 2009.

Na figura 1, nota-se que apenas uma parte da energia total é disponível, ou seja, uma bateria totalmente carregada pode estar a abaixo dos 100% do nível total de carga, e será considerada descarregada mesmo estando com sua carga acima de 0%. Exemplo em uma bateria com 10 kWh de capacidade total, teria somente 6,5 kWh de energia disponível, e com o tempo de uso pode se degradar, considerando: números de ciclos profundos (iniciando em 90% e terminando em 25%), ciclos rasos (quantidade de vezes que varia o estado de carga da bateria), vale frisar que nos ciclos rasos a degradação é menor que no ciclo profundo, e a temperatura a que a bateria é submetida quando fora de operação tem influência sobre sua longevidade (BARAN, R. 2012).

Existem diferentes tecnologias de baterias, na quais é comum utilizar termos de medida, como densidade de potência (ou potência por quilograma da bateria (W/kg) e a densidade energética (ou energia por quilograma de bateria (Wh/kg)). A figura 2 a seguir compara as densidades de energia e de potência de diversos tipos de tecnologias de baterias (IEA, 2009).

Figura 2. Densidade Energética e Densidade de Potência de diferentes tipos de bateria



Fonte: Adaptado IEA, 2009

2.1.3 Híbridos plug-in

O termo *plug-in* do veículo eléctrico (PEV), inclui veículos concebidos para serem conectados na rede eléctrica. Com o aparecimento dos primeiros PHEVs (carros híbridos recarregáveis), os quais podem ser abastecidos tanto com combustíveis térmicos, como energia eléctrica, ou mesmo com ambos, revelam valores de consumo de combustível de 1,42 L/100 km (ou 27 g/km de CO₂), como é o caso do Chevrolet Volt. Esses veículos são capazes de realizar uma grande parte do NEDC (*New European Driving Cycle*), ou mesmo completarem o ciclo, com a bateria carregada no modo eléctrico. E, dessa forma, não queimam nenhuma gota de combustível. O padrão europeu, portanto, adaptado através da imposição de instrução do consumo em modo de calor no ciclo NEDC ponderada pelo intervalo de eléctrica, ou seja, quando utilizar no modo somente eléctrico, não mostra o real consumo em pequenas distâncias (SILVA, 2016).

Segundo MEUNIER (2012), os números de consumo para os híbridos *plug-in* são apenas uma indicação vaga da realidade, pois é impossível dar um único valor de consumo se usar apenas como combustível a energia das baterias o consumo de combustível térmicos serão considerados nulo, por outro lado, em uma longa viagem,

o consumo final ficará mais próximo da realidade, pois ao descarregar as baterias passará a queimar combustível (modo térmico).

Para o consumo real de um híbrido *plug-in*, é necessário saber dois parâmetros:

- sua autonomia no modo elétrico;
- seu consumo no modo térmico.

Nas viagens que exigem o uso do motor térmico (MCI), deve-se multiplicar o consumo de combustível térmico pela proporção da jornada percorrida, ou seja, o quanto de combustível térmico foi consumido na jornada. A autonomia no modo elétrico geralmente anunciada pelo fabricante (é um argumento comercial inegável), não é o mesmo para a térmica de consumo real, no entanto, é possível deduzir a partir dos dados na planilha, usando o volume total do tanque de combustível e sua autonomia.

A Chevrolet anuncia uma autonomia de 550 quilômetros, para o modelo Chevrolet Volt, com tanque de combustível cheio, incluindo a faixa de 60 km no modo elétrico. Isto significa, portanto, que com o tanque cheio é possível percorrer 490 km, ou em média, 7,2 L/100 km, tendo em conta o volume do tanque de combustível que é de 35,3 litros. Um valor maior do que o oficial apresentado na tabela 1 de 1,42 L/100 km. Este exemplo revela que o cliente deve verificar se um veículo *plug-in* irá suprir às suas necessidades, pois no caso do Volt, indica-se a utilização desse modelo, para motoristas que percorram em torno de 60 km por dia (MEUNIER, 2012).

É importante ressaltar que após diversas pesquisas as fabricantes chegaram a conclusão que 60 km por dia é, em média, a distância percorrida pelos condutores para cumprirem as respectivas atividades cotidianas, segundo *European Commission; Joint Research Centre; Institute for Prospective Technological Studies*, essa média varia de 40 km (Reino Unido) para uma média de 80 km (Polónia).

Tabela 1. Consumo dos veículos híbridos *plug-in*

Modelo	Consumo de energia em 100 km	L/100km equivalente	Autonomia	Potência da bateria	Preço total Subgrupo B1
Toyota Prius plug-in	12,32 kWh	1,25	25 km	4,44 kWh	R\$ 9,47
Chevrolet Volt	14,00 kWh	1,42	80 km	16,00 kWh	R\$ 10,76
Fisker Karma	21,40 kWh	2,17	80 km	21,10 kWh	R\$ 16,45

Fonte: Adaptado de MEUNIER, 2012.

Para os cálculos do preço total inserido na Tabela 1, foi utilizado o preço praticado pela Copel (Companhia Paranaense de Energia), tarifa convencional subgrupo B1¹ com impostos, custo em R\$/kWh conforme descrito na tabela 2.

Tabela 2. Tarifa Convencional - subgrupo B1

Convencional Tarifa em R\$/kWh	Resolução ANEEL nº 2.402 de 19 de junho de 2018	Com impostos ICMS e PIS/COFINS
B1-residencial	R\$ 0,50752	R\$ 0,76897

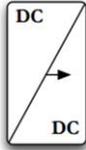
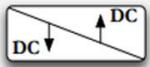
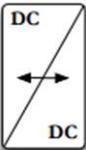
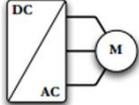
Fonte: Adaptado de COPEL, 2019.

2.1.4 Topologia dos veículos elétricos (VEs)

Existentes várias topologias e arquiteturas diferentes, cobrindo diferentes aplicações de veículos elétricos puro e veículos elétricos híbridos. O H₂FCEV (célula de combustível) acompanhará os veículos híbridos e será utilizada para substituir o motor de combustão interna (MCI), e o gerador, devido ao grande número de topologias encontradas após uma pesquisa inicial da literatura, exigiu uma abordagem usando um conjunto de componentes comuns das diferentes topologias, isso permitiu a análise utilizando dados generalizados de eficiência, peso e potência aplicada a cada topologia, a Tabela 3 mostra esses componentes usados para construir as topologias neste estudo, os valores nominais de eficiência de estado estacionário para cada um dos componentes, ou seja, são dados de análise quantitativa inicial.

¹ Grupo B é composto por unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, ao passo que o grupo A é composto por unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV (ANEEL, 2010).

Tabela 3. Componentes da topologia dos veículos elétricos

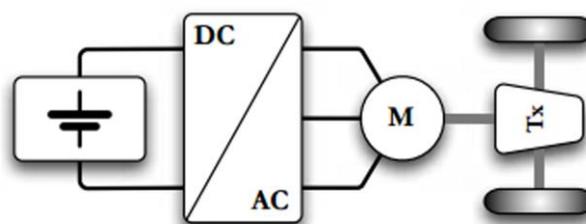
Componente	Eficiência nominal	Peso	Símbolo
85 kW H ₂ PEMFC	0,56	200 kg	
4,5 kWh (45 kW Peak Power) Li-Ion Bateria	0,88 (carregar) 0,94 (descarga)	45 kg ¹	
80 kW Conversor DC-DC Unidirecional	0,95	37,5 kg ²	
45 kW Conversor DC-DC Bidirecional	0,93	28,5 kg ³	
80 kW Conversor DC-DC Bidirecional	0,91	43 kg	
4,5 kW Conversor DC-DC Unidirecional	0,97	2,5 kg	
Diodo de Potência	0,99	0,2 kg	
Transmissão de relação fixa	0,97	-----	
(Peak Power) 3-Phase Drive & Motor de indução	0,86	110 kg ⁴	
<p>1- Pack peso de células Kokam Li-Ion. 2- Peso baseado em 2 kW / kg para conversor DC-DC unidirecional. 3- Peso baseado em 1,75 kW / kg para conversor DC-DC bidirecional. 4- Peso do inversor DC-AC e do motor de indução CA inclui transmissão de relação fixa.</p>			

Fonte: Adaptado de STEPHEN, 2013.

2.1.4.1 Topologia tradicional veículo elétrico puro

A topologia tradicional de um veículo elétrico puro ou veículo elétrico a bateria (BEV), é mostrado na Figura 3, o qual consiste numa fonte de alimentação elétrica de bateria ligada a um inversor o qual é ligado ao motor. Quando o contutor do veículo aumenta a aceleração, aumenta a retirada de energia da fonte (bateria) e entrega ao motor, aumentando sua rotação.

Figura 3. Topologia tradicional de um BEV.



Fonte: Adaptado de STEPHEN, 2013.

Este sistema é uma arquitetura simples mas é o método ideal de projetar um Veículo, porém sua maior desvantagem atual é o avanço tecnológico limitado das baterias, que torna improvável que o BEV possa substituir inteiramente os PHVEs a um curto prazo (STEPHEN, 2013).

Tabela 4. Análise do fluxo de potência topologia BEV

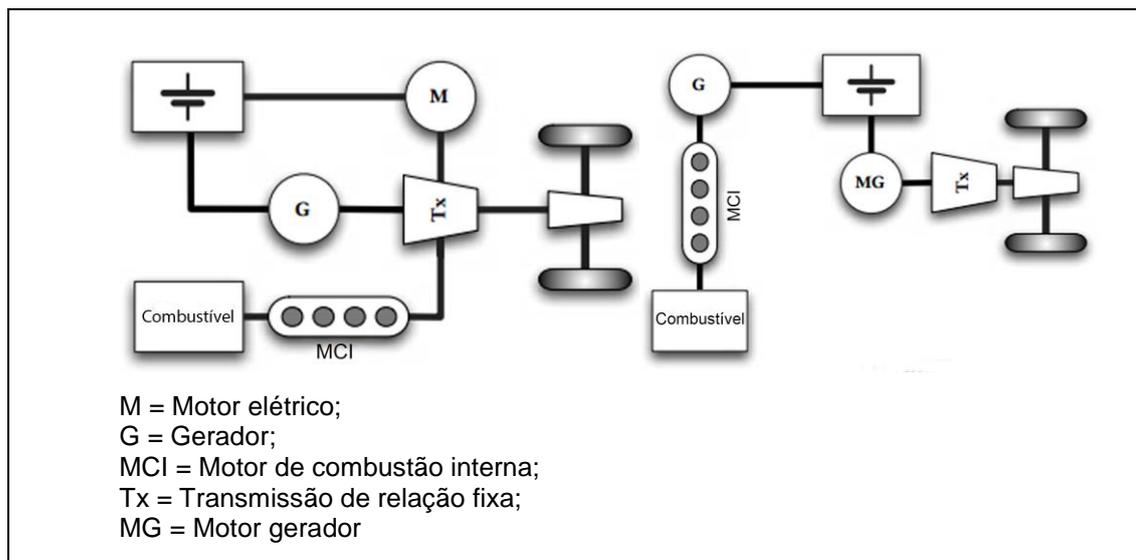
Análise de Fluxo de Energia		
Origem do fluxo de energia	Cálculo de Eficiência	Eficiência η
Bateria (carga plena)	$0,94 \times 0,86 \times 0,97$	0,784
Freio regenerativo (bateria com carga baixar)	$0,97 \times 0,86 \times 0,88$	0,734

Fonte: Adaptado de STEPHEN, 2013.

2.1.4.2 Topologia tradicional dos veículos elétricos híbridos (PHVEs)

Na Figura 4 lado esquerdo mostra acoplamento paralelo e no lado direito acoplamento série, segundo STEPHEN (2013), nesta topologia, faz mais sentido usando um motor de combustão Interna (MCI) para os veículos de passageiros como o Toyota Prius, embora seja possível substituir diretamente o MCI pelo H₂FCEV.

Figura 4. Acoplamento paralelo (esquerda). Acoplamento série (direita).



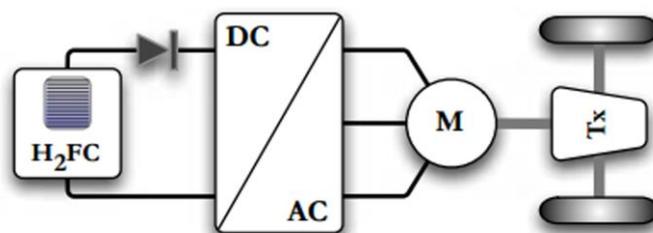
Fonte: Adaptado de STEPHEN, 2013.

2.1.4.2.1 Topologia tradicional H_2 FCEV

Uma célula a combustível é um sistema de conversão eletroquímico de energia, que transforma energia química diretamente em energia elétrica. Especificamente, as células combinam eletroquimicamente o oxigênio do ar com o hidrogênio (BLOMEN e MUGERWA, 1993).

A abordagem mais simplista para alimentar um veículo elétrico com uma célula de combustível é substituir a bateria por uma célula de combustível como mostrado na Figura 5. Um diodo de potência impede o fluxo de energia reversa para as células de combustível que pode inverter a polaridade das células e danificar irreversivelmente a membrana de troca de prótons.

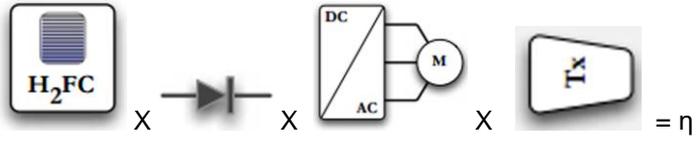
Figura 5. Topologia tradicional H_2 FCEV.



Fonte: Adaptado de STEPHEN, 2013.

Infelizmente, esta não é atualmente uma abordagem viável para a construção dos veículos, por causa da falta de potência no início do funcionamento da célula, sendo assim os sistemas de energia de célula requerem uma fonte de alimentação adicional para iniciar seu funcionamento.

Tabela 5. Análise do fluxo de potência topologia H₂FCEV

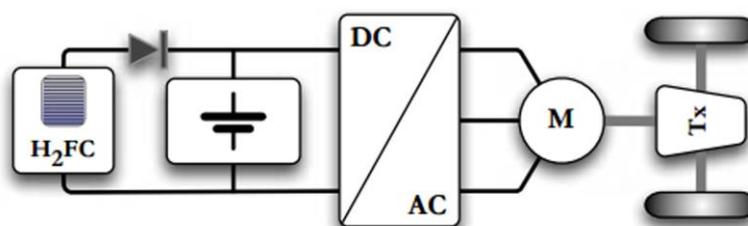
Análise de Fluxo de Energia		
Origem do fluxo de energia	Cálculo de Eficiência	Eficiência η
<i>Célula de combustível</i>	$0,56 \times 0,99 \times 0,86 \times 0,97$	0,462
		

Fonte: Adaptado de STEPHEN, 2013.

2.1.4.2.2 Topologia H₂FCEV com driver híbrido (A)

A solução mais simples de compensar a resposta lenta da célula de combustível durante a aceleração é adicionando uma bateria ou capacitor através da saída da célula de combustível como mostrado abaixo na Figura 6.

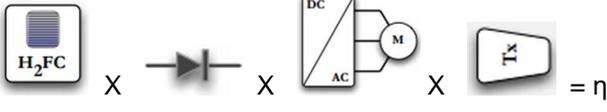
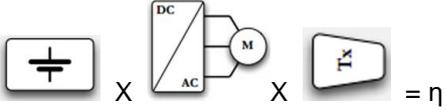
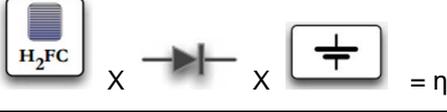
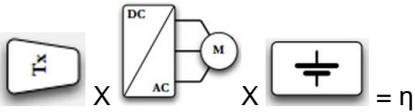
Figura 6. Topologia H₂FCEV com driver híbrido (A)



Fonte: Adaptado de STEPHEN, 2013.

Esta topologia só é possível se as características da bateria (ou capacitor) e da célula de combustível forem compatíveis, pois as duas fontes de energia irão compartilhar a carga e controlar o fluxo de hidrogênio das células de combustível, ou seja, é possível controlar a quantidade de energia fornecida pela bateria e a quantidade de energia fornecida pela célula de combustível.

Tabela 6. Análise do fluxo de potência topologia H₂FCEV com driver híbrido (A)

Análise de Fluxo de Energia		
Origem do fluxo de energia	Cálculo de Eficiência	Eficiência η
<i>Célula de combustível</i>	$0,56 \times 0,99 \times 0,86 \times 0,97$	0,462
		
<i>Bateria (carga plena)</i>	$0,94 \times 0,86 \times 0,97$	0,784
		
<i>Célula de combustível x bateria com carga baixa</i>	$0,56 \times 0,99 \times 0,88$	0,488
		
<i>Freio regenerativo (bateria com carga baixa)</i>	$0,97 \times 0,86 \times 0,88$	0,734
		
<i>Bateria (carga plena) x célula de combustível x bateria com carga baixa</i>	$0,784 \times 0,488$	0,382
		

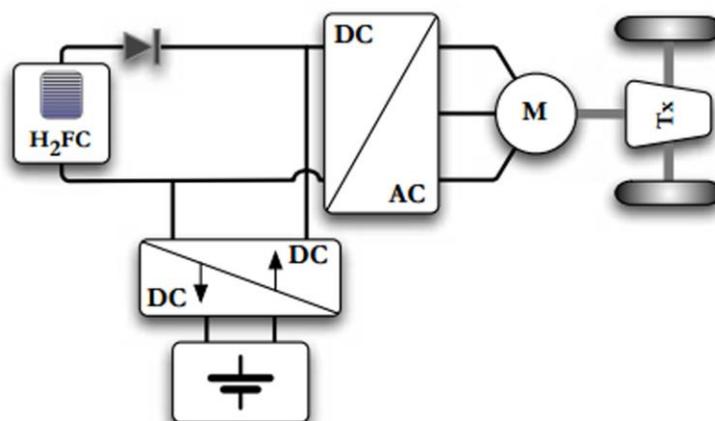
Fonte: Adaptado de STEPHEN, 2013

2.1.4.2.3 Topologia H₂FCEV com driver híbrido (B)

Na topologia mostrada na Figura 7 exemplifica um dos métodos mais comuns de fornecer uma assistência de energia ao sistema de célula de combustível é a interface de uma bateria para o barramento de saída DC da célula de combustível com um conversor DC-DC. A bateria fornece uma assistência de energia através de seu conversor DC-DC enquanto rastreia a tensão de barramento que é ditada pelas células de combustível. Os conversores embora sejam bidirecionais, o conversor DC-DC é de menor valor e, portanto, menor e mais leve do que seria um conversor DC-DC para a célula de combustível. O conversor também permite um carregamento

ótimo e seguro do sistema de bateria a partir da energia de frenagem regenerativa e da célula de combustível.

Figura 7. Topologia H₂FCEV com driver híbrido (B)



Fonte: Adaptado de STEPHEN, 2013.

Tabela 7. Análise do fluxo de potência topologia H₂FCEV com driver híbrido (B)

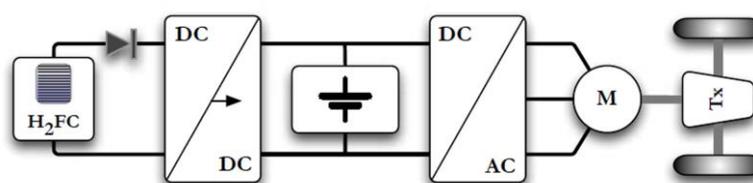
Análise de Fluxo de Energia		
Origem do fluxo de energia	Cálculo de Eficiência	Eficiência η
<i>Célula de combustível</i>	$0,56 \times 0,99 \times 0,86 \times 0,97$	0,462
$H_2FC \times \text{conversor DC/AC} \times M \times Tx = \eta$		
<i>Bateria (carga plena)</i>	$0,94 \times 0,93 \times 0,86 \times 0,97$	0,725
$\text{bateria} \times \text{conversor DC/DC} \times \text{conversor DC/AC} \times M \times Tx = \eta$		
<i>Célula de combustível x bateria com carga baixa</i>	$0,56 \times 0,99 \times 0,93 \times 0,88$	0,454
$H_2FC \times \text{conversor DC/DC} \times \text{bateria} = \eta$		
<i>Freio regenerativo (bateria com carga baixa)</i>	$0,97 \times 0,86 \times 0,93 \times 0,88$	0,683
$Tx \times M \times \text{conversor DC/AC} \times \text{conversor DC/DC} \times \text{bateria} = \eta$		
<i>Bateria (carga plena) x célula de combustível bateria com carga baixa</i>	$0,454 \times 0,725$	0,329
$H_2FC \times \text{conversor DC/AC} \times M \times Tx \times \text{conversor DC/DC} \times \text{bateria} = \eta$		

Fonte: Adaptado de STEPHEN, 2013.

2.1.4.2.4 Topologia H₂FCEV com driver híbrido (C)

A topologia C representada na Figura 8, é de longe a topologia mais comum na literatura. A bateria atua como uma fonte de energia e atenuadora no barramento DC, onde os déficits de energia são retirados e qualquer excesso de energia é atenuado pela bateria. A maioria das implementações atuais têm usado baterias NiMH que são mais tolerantes a flutuações da tensão de barramento, do que as de Li-Ion.

Figura 8. Topologia H₂FCEV com driver híbrido (C)



Fonte: Adaptado de STEPHEN, 2013.

Tabela 8. Análise do fluxo de potência topologia H₂FCEV com driver híbrido (C)

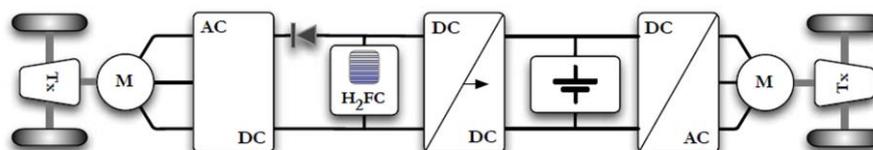
Análise de Fluxo de Energia		
Origem do fluxo de energia	Cálculo de Eficiência	Eficiência η
<i>Célula de combustível</i>	$0,56 \times 0,99 \times 0,86 \times 0,97$	0,462
<i>Bateria (carga plena)</i>	$0,94 \times 0,86 \times 0,97$	0,784
<i>Célula de combustível x bateria com carga baixa</i>	$0,56 \times 0,99 \times 0,88$	0,489
<i>Freio regenerativo (bateria baixar carga)</i>	$0,97 \times 0,86 \times 0,88$	0,734
<i>Bateria (carga plena) x célula de combustível x bateria com carga baixa</i>	$0,784 \times 0,489$	0,383

Fonte: Adaptado de STEPHEN, 2013.

2.1.4.2.5 Topologia H₂FCEV com driver híbrido (D)

Com a adição de um pequeno conversor DC-DC unidirecional de 4,5 kW, o qual permite o carregamento direto da bateria utilizando energia gerada pela célula de combustível.

Figura 9. Topologia H₂FCEV com driver híbrido (D)



Fonte: Adaptado de STEPHEN, 2013.

Tabela 9. Análise do fluxo de potência topologia H₂FCEV com driver híbrido (D)

Análise de Fluxo de Energia		
Origem do fluxo de energia	Cálculo de Eficiência	Eficiência η
<i>Célula de combustível</i>	$0,56 \times 0,99 \times 0,86 \times 0,97$	0,462
<i>Bateria (carga plena)</i>	$0,94 \times 0,86 \times 0,97$	0,784
<i>Célula de combustível x bateria com carga baixa</i>	$0,56 \times 0,97 \times 0,88$	0,478
<i>Freio regenerativo x bateria com carga baixa</i>	$0,97 \times 0,86 \times 0,88$	0,734
<i>Bateria (carga plena) x célula de combustível bateria com carga baixa</i>	$0,784 \times 0,478$	0,375

Fonte: Adaptado de STEPHEN, 2013.

2.1.5 Produção conhecida e implementações de protótipo

A Tabela 10 mostra a produção conhecida e implementação de protótipos classificados como veículos elétricos: puro, híbrido, híbrido plug-in, sendo que na topologia tradicional; considera puro o veículo elétrico que não possui outra alternativa de abastecimento, ou seja, somente energia elétrica advinda de fontes externas ao veículo, e o H₂FCEV o veículo elétrico é alimentado através de célula de combustível, a qual substitui a bateria.

Tabela 10. Produção Conhecida e Implementações de Protótipo

Produção Conhecida e Implementações de Protótipo						
Fabricante - modelo	Topologia dos veículos elétricos (VEs)					
	Tradicional		Híbrido			
	Puro	H ₂ FCEV	(A)	(B)	(C)	(D)
<i>General Motors EV1</i>	✓					
<i>Nissan Leaf</i>	✓					
<i>Tesla Roadster</i>	✓					
<i>Mitshubishi iMIEV</i>	✓					
<i>Ford Focus Electric</i>	✓					
<i>Renault Zoe</i>	✓					
<i>Toyota RAV4 EV</i>	✓					
<i>BMW Mini E</i>	✓					
<i>GM Hy-Wire</i>		✓				
<i>Ford Focus FCV</i>		✓			✓	
<i>Mazda Premacy FC-EV</i>		✓				
<i>Honda FCX 2005 (Ultra-capacitor Model)</i>			✓			
<i>Toyota FCHV</i>				✓		
<i>Honda FCX (Li-Ion Model)</i>				✓		
<i>Nissan X-Trail FCV</i>					✓	
<i>Renault Laguna FEVER</i>					✓	
<i>Mercedes A Class F-Cell</i>					✓	
<i>Mercedes B Class F-Cell</i>					✓	
<i>VW Bora HyMotion</i>					✓	
<i>VW Tiguan HyMotion</i>					✓	
<i>Volvo V60 Diesel PHEV</i>						✓
<i>Peugeot 3008 HYbrid4 Diesel HEV</i>						✓
<i>Vauxhall Vivaro TrRHEV</i>						✓

Fonte: Adaptado de STEPHEN, 2013.

2.1.6 Veículos elétricos *to grid* (V2G)

A utilização de veículos elétricos plug-in (PEVs) na configuração *to grid* (V2G), para transferência de energia em um ambiente de rede inteligente pode oferecer suporte para distribuidoras nos horários de pico de demanda, e reduzir o valor do kW/h pago pelos seus proprietários no horário de ponta (Rüther, 2015).

Segundo HAMED (2013), um dos principais benefícios de um sistema de energia V2G é facilitar e incentivar a participação dos EVs na oferta de vários serviços auxiliares à rede elétrica por meio de comunicações adequadas, como no fornecimento de energia de reserva, ou seja, um sistema V2G de grande escala pode ajudar a manter o equilíbrio entre a oferta e a demanda na rede elétrica através da injeção de energia, pois ao injetar energia acumulada em suas baterias na rede elétrica, poderão fornecer a potência adicional requerida por uma fábrica de tamanho médio por um determinado período de tempo, agindo de forma semelhante a uma fonte reserva de geração de energia, embora a capacidade de fornecimento de cada VE individual seja pequena, um grupo de VEs agregados e sincronizado pode ser perceptível e gerenciável, podendo também participar no horário de pico, ou seja, normalmente existe pelo menos um pico principal num perfil de demanda de carga residencial diária, e para suprir esse pico de demanda a grade devem ser superdimensionadas, aumentando significativamente o custo de geração e distribuição, já que a grade será subutilizada na maior parte do dia, sendo assim, os VEs ao descarregar suas baterias no horário de ponta (18:00 até as 21:00 horas), carregá-las fora dele, (após as 21:00 horas), podem ajudar significativamente a reduzir o pico de demanda.

2.1.6.1 Arquiteturas dos veículos elétricos V2G

Na arquitetura do V2G, existe uma linha de comunicação direta entre o operador da rede e o operador veículo, para que cada veículo possa ser tratado como um recurso determinista comandado pelo operador da rede. Sob este paradigma, cada veículo é autorizado a licitar individualmente e executar serviços enquanto está na estação de carregamento. A arquitetura do V2G, é conceitualmente simples, mas existem problemas em termos de viabilidade a curto prazo e escalabilidade a longo

prazo. Os desafios com arquitetura do V2G são duplos. Primeiro, a quantidade de sobrecarga de tarefas de sinalização e controle imposta ao operador de rede é significativa e esmagadora, já que o operador precisa interagir diretamente com um número maior de VEs individuais quando se conectem e desconectem da rede, ou seja, o operador do sistema de rede deve atualizar constantemente o status da conexão, disponibilidade de energia, estado de carga e requisitos do motorista para contratar a potência que ele pode comandar a partir do veículo (HAMED; HUANG, 2013).

2.2 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR SFVCR

O fundamento da conversão da energia do sol em energia elétrica está no efeito fotovoltaico (FV), descoberto por Becquerel em 1839 ao observar que certos materiais, ao ser expostos à luz, eram capazes de produzir uma corrente elétrica. Mas, somente em 1954 Chapin produziu a primeira célula fotovoltaica com eficiência de conversão de 6%, considerável aceitável na época.

Nos anos 1950 a 1970, iniciaram-se as pesquisas intensivas nesta área, especialmente para aplicações espaciais. A grande mudança foi produzida a partir dos anos 70, motivada em parte pela primeira crise energética internacional, que fomentou uma tentativa de diversificação das fontes energéticas e promoveu a pesquisa e desenvolvimento da energia FV como fonte energética.

O elemento fundamental na conversão FV é a célula solar. Em determinados materiais semicondutores, os fótons da radiação solar são capazes de transmitir sua energia aos elétrons de valência do semicondutor, tornando possível romper suas ligações de modo que fiquem livres e possam movimentar-se no material. A ausência de um elétron devido ao rompimento de uma ligação se chama lacuna, e também pode mover-se através do semicondutor. Portanto, as propriedades de condução elétrica de um semicondutor devem-se tanto ao movimento dos elétrons, quanto ao movimento das lacunas, denominando-se ambos, de maneira genérica, portadores de carga. O movimento dos elétrons e lacunas em direções opostas gera uma corrente elétrica no semicondutor, que seria aproveitável por um circuito externo. A fim de separar as lacunas elétrons para que a ligação não se reestabeleça utiliza-se um campo elétrico que obriga a circulação de ambas cargas em sentidos opostos. Uma célula solar não é mais do que um semicondutor preparado de maneira que seja

possível extrair a circulação de corrente do mesmo até um circuito externo (BILBAO, 2008).

Em 17 de abril de 2012, entrou em vigor a resolução normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL nº 482/2012, a qual estabelece que o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, e fornecer o excedente da energia produzida a rede elétrica a qual estiver conectado, colaborando com o desempenho da rede, ou seja, trata-se da micro e da minigeração distribuídas de energia elétrica. Com o objetivo de reduzir os custos e tempo para a conexão da microgeração e minigeração, aumentando o público alvo, e melhorando as informações na fatura, a ANEEL publicou a resolução normativa nº 687/2015 revisando a resolução normativa nº 482/2012.

Segundo as novas regras, que começaram a valer em 1º de março de 2016, é permitido o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, denominando-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (KW) e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW (sendo 3 MW para a fonte hídrica), conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. De acordo com as novas regras, o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado “autoconsumo remoto”. Outra inovação da norma diz respeito à possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras). Nessa configuração, a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos em porcentagens definidas pelos próprios consumidores. A ANEEL criou ainda a figura da “geração compartilhada”, possibilitando que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem uma micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados. Com relação aos procedimentos necessários para se conectar a micro ou minigeração distribuída à rede da distribuidora, a ANEEL estabeleceu regras que simplificam o processo: foram instituídos formulários padrão para realização da solicitação de acesso pelo consumidor e o prazo total para a distribuidora conectar usinas de até 75 kW, que era de 82 dias, foi reduzido para 34 dias. Adicionalmente, a partir de janeiro de 2017, os consumidores poderão fazer a solicitação e acompanhar o andamento de seu pedido junto à distribuidora pela internet [...] (ANEEL, 2015).

A utilização de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFVCR) configurando como uma alternativa sustentável de produção de energia elétrica, pois permitem a geração de energia de modo distribuído, ou seja, no próprio local onde será consumida para o carregamento das baterias dos veículos elétricos e, permitem

também, com que o excedente de energia produzido seja injetado na rede, colaborando assim com o desempenho da rede em que se encontram conectados. Além disso, esses sistemas não necessitam de novas áreas para instalação, pois estes fazem uso de espaços já existentes, como as coberturas das edificações para as quais gerarão energia (REBECHI, 2008). Rüter (2015), complementa, a energia fotovoltaica integrada à construção (BIPV) pode ajudar a redes de distribuição urbana, quando há uma interação entre a disponibilidade de recursos de irradiação solar e demanda de eletricidade. Isto é particularmente relevante em áreas urbanas, onde o ar condicionado é a carga predominante e geração no local um recurso bem-vindo.

2.2.1 Composição de um SFVCR

Um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR) é constituído basicamente pelo painel fotovoltaico (conjunto de Módulos), o qual converte a energia do sol em energia elétrica em corrente contínua, por um inversor, o qual converte a corrente contínua em corrente alternada, que além de disponibilizá-la para a instalação, também injeta o excedente dessa energia na rede da concessionária, através do medidor bidirecional, o qual contabiliza a energia injetada na rede da concessionária elétrica. (URBANETZ JUNIOR, 2010). A Figura 10 mostra esses componentes.

Figura 10. Módulo fotovoltaico, inversor e medidor bidirecional



Fonte: Adaptado de GERASOL, 2017.

2.2.1.2 Painel Fotovoltaico

Painel fotovoltaico é constituído de módulos fotovoltaicos, os quais são compostos de células fotovoltaicas conectadas em forma de arranjos, de modo que possa produzir tensão e corrente suficientes para a utilização prática da energia. Os módulos podem ser configurados em ligações série e/ou paralelo, dependendo da corrente e tensão desejadas (PINHO e GALDINO 2014, p. 144-147).

2.2.1.3 Inversores

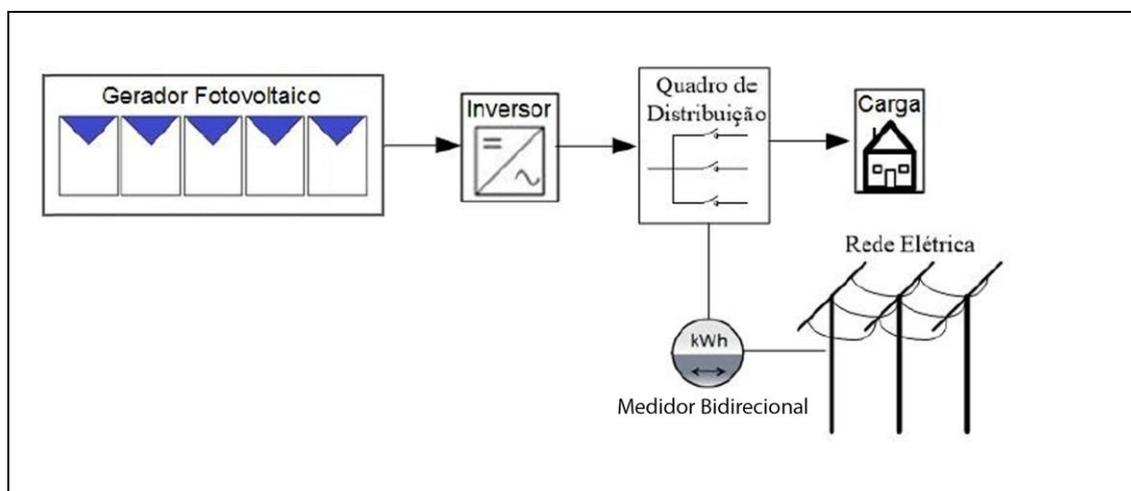
Os inversores convertem a corrente contínua em corrente alternada, e disponibilizá-la para as instalações (URBANETZ JUNIOR, 2010), (PINHO e GALDINO 2014, p. 216), complementa, é um dispositivo eletrônico capaz de fornecer energia elétrica em corrente alternada (CA) a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (CC), a qual pode ser proveniente, por exemplo, de baterias, células a combustível ou módulos fotovoltaicos. A diferença de potencial elétrico em CA deve ter amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequados às cargas a serem alimentadas. Adicionalmente, no caso de sistemas conectados à rede elétrica a tensão de saída do inversor deve ser sincronizada com a tensão da rede.

2.2.1.4 Medição bidirecional

O medidor bidirecional contabiliza a energia injetada na rede da concessionária elétrica. (URBANETZ JUNIOR, 2010). “Os SFCR, dispensam o uso de acumuladores, pois a energia por eles produzida pode ser consumida diretamente pela carga, ou injetada diretamente na rede elétrica convencional, para ser consumida pelas unidades consumidoras conectadas ao sistema de distribuição” (PINHO e GALDINO 2014, p. 289). A Figura 11, esboça um SFCR conectado à rede elétrica, através de um medidor bidirecional, a cada instante apenas o registro em um dos sentidos será realizado, dependendo da diferença instantânea entre a demanda e a potência gerada pelo sistema fotovoltaico, regulamentado pela ANEEL através da resolução normativa nº. 569, de 23 de julho de 2013, a qual estabelece também, que as unidades

consumidoras do grupo B, onde os consumidores residenciais estão incluídos, não podem ser cobradas pelo excedente de reativos devido ao baixo fator de potência.

Figura 11. Medição bidirecional de registros independentes



Fonte: Adaptado de PINHO e GALDINO, 2014.

3 REVITALIZAÇÃO DO VE POMPEO DA UTFPR

Nesse capítulo são apresentadas as etapas de revitalização do VE POMPEU.

3.1 ETAPA 1: ASPECTOS FUNCIONAIS

Nesta etapa foi definido qual é o objetivo da revitalização e são traçados os caminhos para atingi-lo através de uma avaliação inicial de funcionamento. Na Figura 12 mostra o VE POMPEU antes da revitalização.

Figura 12. Pompeu antes da revitalização



Fonte: acervo do autor, 2016.

3.2 ETAPA 2: INICIO DA FUNILARIA

Nesta etapa foi feito cortes dos cantos exposto, corte do suporte do motor e cortes para fixação dos faróis, com objetivo de redução de peso e melhoria na estética do VE, mostrado na Figura 13.

Figura 13. Cortes dos cantos expostos, do suporte do motor, e do Farol



Fonte: acervo do autor, 2016.

3.3 ETAPA 3: FIAÇÃO E PAINEL DE CONTROLE

Nesta etapa foi refeita a fiação, consertado o controlador do motor e o inversor de DC-AC, mostrado nas Figuras 14, 15.

Figura 14. Substituição da fiação elétrica, Conserto do controlador do motor



Fonte: acervo do autor, 2016.

Figura 15. Conserto do Inversor 48VCC - 380VAC



Fonte: acervo do autor, 2016.

3.4 ETAPA 4: PROCESSO DE PINTURA

Nesta etapa foi feita a pintura e o polimento do painel, demonstrado na Figura 16.

Figura 16. Processo de pintura, Polimento do painel



Fonte: acervo do autor, 2016.

3.5 ETAPA 5: CONSERTO DO ACELERADOR E FIXAÇÃO DAS BATERIAS

Nesta etapa foi consertado o acelerador e fixada as baterias, demonstrado na Figura 17.

Figura 17. Conserto acelerador, Fixação das baterias



Fonte: acervo do autor, 2016.

3.6 ETAPA 6: POLIMENTO E FINALIZAÇÃO DO VE POMPEU

Nesta etapa foi polido o Pompeu, concluindo sua revitalização, na Figura 18 mostra como ficou depois de revitalizado.

Figura 18. Pompeu pronto



Fonte: acervo do autor, 2016.

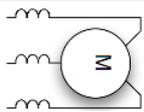
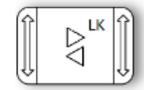
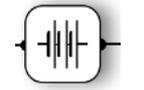
4 CONVERSÃO DE UM VEÍCULO CONVENCIONAL PARA VE

Nesse capítulo são apresentadas as etapas de conversão de um veículo convencional da marca Mercedes Bens modelo Classe A 190 para 100% elétrico, e os ensaios neste VE.

4.1 ASPECTOS FUNCIONAIS E MATERIAS NECESSÁRIO

Após aquisição do veículo Mercedes Benz Classe A 190, denominado de Eco Auto, foram levantados os principais componentes necessários para a conversão e relacionados na tabela 11.

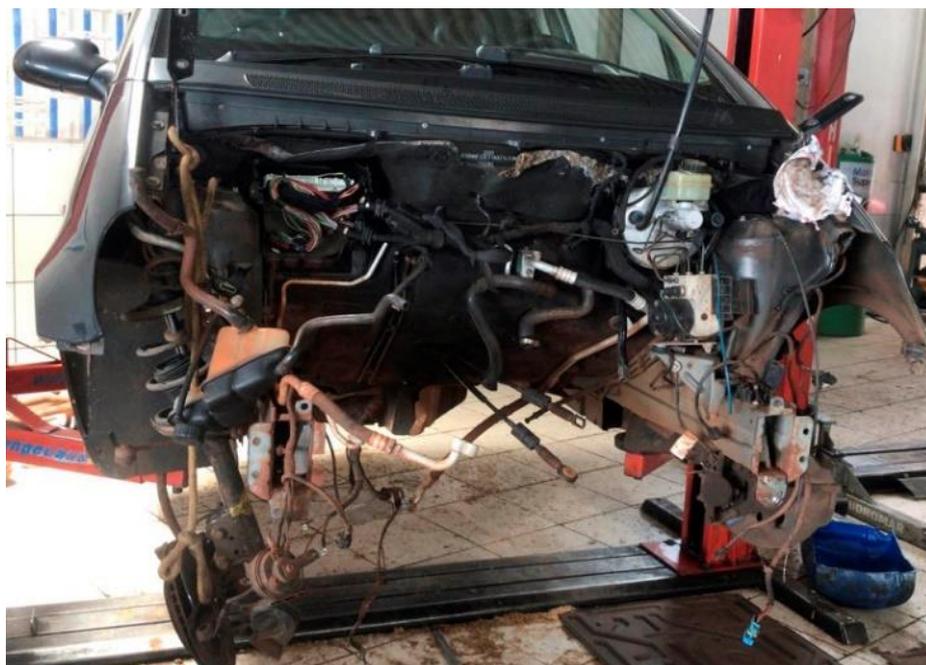
Tabela 11. Componentes da topologia adotada na conversão

Componentes	Eficiência nominal	Peso	Símbolo
Motor Brushless 10kW (BLDC)	0,93	17 kg	
Controlador FOC (<i>Field-Oriented Control</i>) 10 kW	0,99	2,5 kg	
Bateria 10,8 kWh (<i>108 kW Peak Power</i>)	0,88 (carregar) 0,94 (descarga)	324 kg	
Transmissão de relação variável	0,97	-----	

Fonte: Adaptado de STEPHEN, 2013.

Na Figura 19 é mostrada como ficou o Mercedes Benz Classe A 190 após a remoção do motor de combustão interna (MCI) e seus periféricos.

Figura 19. Remoção do Motor de combustão interna (MCI).

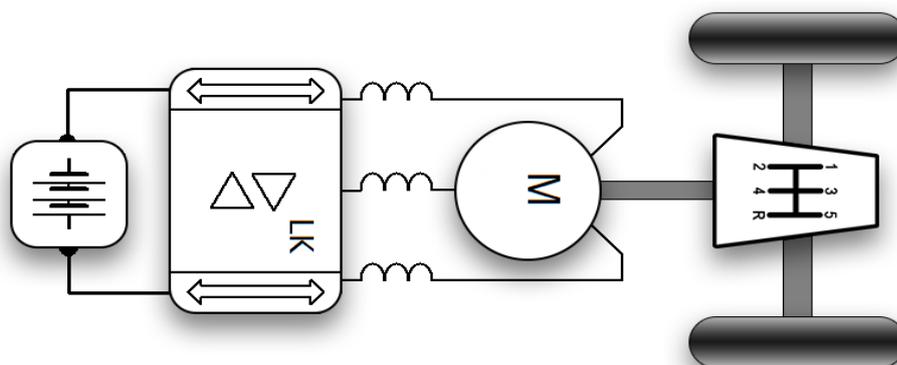


Fonte: acervo do autor, 2018

4.2 TOPOLOGIA ADOTADA NA CONVERSÃO

A topologia adotada na conversão do VE é mostrada na figura 20, a qual consiste em um banco de baterias ligado a um controlador que comanda um motor do tipo *Brushless* (BLDC), quando o condutor do veículo aumenta a aceleração, aumenta a retirada de energia da fonte (bateria) e entrega ao motor, aumentando sua rotação.

Figura 20. Topologia tradicional de um BEV.



Fonte: Adaptado de STEPHEN, 2013

É importante ressaltar, que o motor elétrico produz torque máximo na partida, e sua curva de eficiência permanece quase constante até atingir alta rotação, ao

contrário do motor de combustão convencional que é relativamente ineficiente entre 5% a 10% em baixa rotação, e 28% em alta rotação, sendo a eficiência média em torno de 15%. Se considerar que no meio urbano, automóveis raramente trabalham em alta rotação, e que mesmo sem estar em movimento o motor a combustão permanece em funcionamento desperdiçando energia (BARAN, R. 2012).

4.3 MOTOR ADOTADO NA CONVERSÃO

O motor de corrente contínua é o mais eficiente para controle de velocidade sem perder o torque, mas com algumas desvantagens, como manutenção das escovas, tamanho e peso, por isso optou-se por motor DC Brushless (BLDC), apesar do custo ser ligeiramente maior e também ser necessário um sistema de controle eletrônico FOC (*Field-Oriented Control*), estes motores têm algumas vantagens importantes em comparação aos motores convencionais com escovas: possuem maior eficiência, mínimo desgaste, expectativa de vida útil mais longa, design compacto, maior densidade de energia, menos ruído e maior confiabilidade.

Na conversão do Classe A inicialmente foi utilizado um motor *Brushless* modelo igual da Figura 21, com recursos personalizáveis, de 72V 10 kW, com peso de 17 kg, Comprimento (altura) 170 milímetros, Diâmetro 206 milímetros, velocidade 2000-6000 rpm (customizável), com eficiência de 93,5%.

Figura 21. Motor BLDC 72V/10000W

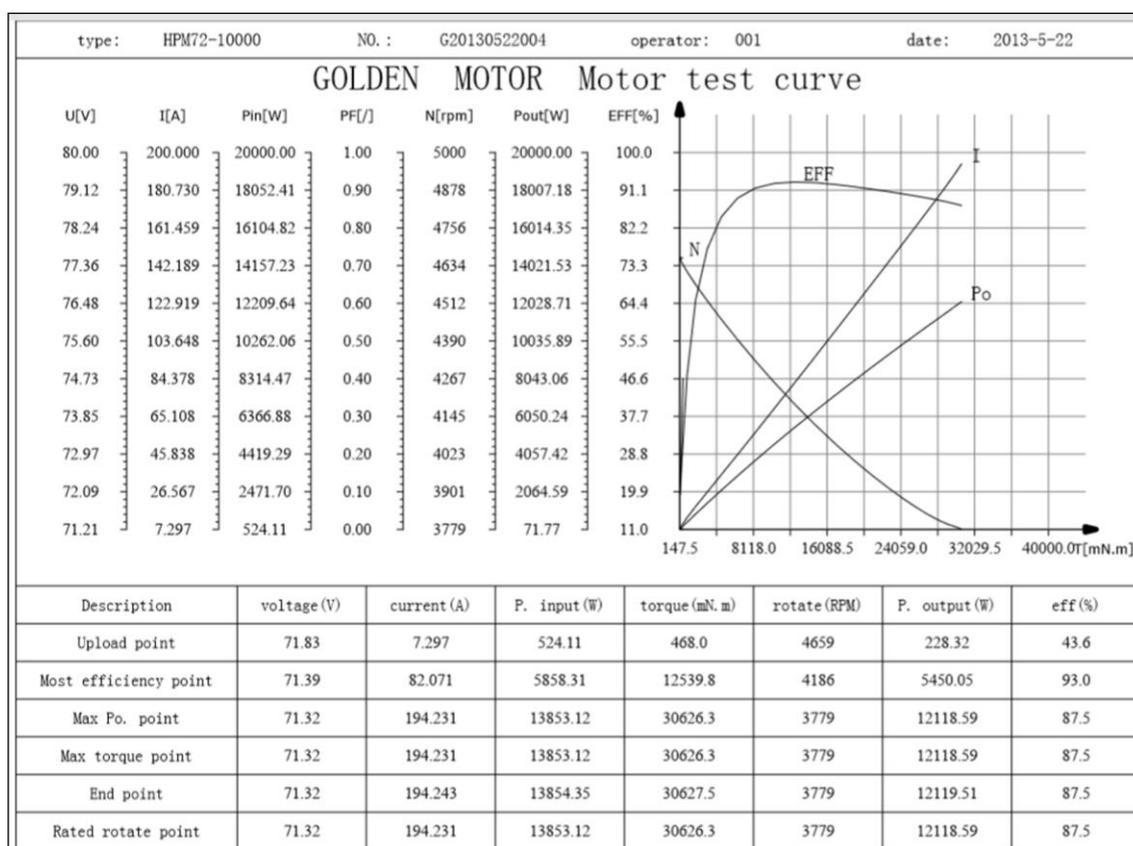


Fonte: acervo do autor, 2018.

4.3.1 Curva de Eficiência x Torque

Como pode ser observado na curva característica do motor da Figura 23, essa relação traduz a condição real de carga a qual o motor está submetido, devido ao formato linear da curva. Neste mesmo exemplo, é possível verificar que quando motor estiver trabalhando com metade da corrente nominal, o percentual de carga é de aproximadamente 50%.

Figura 22. Teste de eficiência motor BLDC 72V/10000W



Fonte: adaptado de Golden Motor, 2017.

4.3.2 Testes Dinâmico

Os testes dinâmicos do motor são feitos através de um centro de controle de motores (MCC), com objetivo de fornece dados sobre a funcionalidade, desempenho, carga, potência, e sua adequação ao sistema suportado. Na Figura 23, temos os resultados obtidos dos testes dinâmicos do motor utilizado no Eco Auto. Como pode ser observado na curva característica do motor na figura 22 essa relação traduz a

condição real de carga a qual o motor está submetido, devido ao formato linear da curva. Neste mesmo exemplo, é possível verificar que quando motor estiver trabalhando com metade da corrente nominal, o percentual de carga é de aproximadamente 50%.

Figura 23. Teste dinâmico do motor BLDC 72V/10000W

Type:	HPM72-10000	rated U:	72 V
No.:	G20130522004	rated I:	160 A
Operator:	001	rated P.:	10000 W
Date:	2013-5-22	rated N:	3500 RPM

Items NO.	voltage V	current A	P. input W	P. factor PF	frequency Hz	torque mN.m	rotate rpm	P. output W	efficiency %
1	71.83	7.297	524.11	1.000	0.00	468.0	4659	228.32	43.6
2	71.82	7.606	546.28	1.000	0.00	357.5	4658	174.37	31.9
3	71.81	9.103	653.73	1.000	0.00	147.5	4647	71.77	11.0
4	71.79	12.522	898.97	1.000	0.00	805.0	4621	389.52	43.3
5	71.75	18.159	1302.97	1.000	0.00	1917.5	4580	919.60	70.6
6	71.70	25.740	1845.49	1.000	0.00	3242.5	4525	1536.37	83.3
7	71.64	34.868	2497.87	1.000	0.00	4772.5	4460	2228.83	89.2
8	71.58	45.202	3235.65	1.000	0.00	6460.0	4388	2968.22	91.7
9	71.52	56.724	4056.79	1.000	0.00	8327.5	4320	3766.99	92.9
10	71.45	68.855	4919.31	1.000	0.00	10315.0	4251	4591.53	93.3
11	71.38	81.549	5820.60	1.000	0.00	12427.5	4181	5440.77	93.5
12	71.30	94.671	6750.04	1.000	0.00	14587.5	4114	6284.08	93.1
13	71.23	107.898	7685.30	1.000	0.00	16797.5	4052	7127.06	92.7
14	71.21	121.197	8630.78	1.000	0.00	18967.5	3996	7936.56	92.0
15	71.27	134.038	9552.52	1.000	0.00	21112.5	3949	8730.18	91.4
16	71.30	146.140	10419.78	1.000	0.00	23077.5	3910	9448.48	90.7
17	71.26	156.545	11155.40	1.000	0.00	24825.0	3872	10065.17	90.2
18	71.22	165.043	11754.33	1.000	0.00	26172.5	3842	10529.29	89.6
19	71.24	171.080	12187.74	1.000	0.00	27107.5	3825	10857.19	89.1
20	71.27	175.565	12512.52	1.000	0.00	27762.5	3816	11093.37	88.7
21	71.29	178.693	12738.54	1.000	0.00	28297.5	3809	11286.41	88.6
22	71.30	181.525	12942.28	1.000	0.00	28692.5	3803	11425.92	88.3
23	71.34	184.110	13134.41	1.000	0.00	29087.5	3800	11574.08	88.1
24	71.34	186.195	13284.08	1.000	0.00	29415.0	3797	11695.16	88.0
25	71.34	188.323	13433.99	1.000	0.00	29770.0	3791	11817.60	88.0
26	71.33	190.278	13572.49	1.000	0.00	30065.0	3787	11922.11	87.8
27	71.34	192.378	13724.21	1.000	0.00	30357.5	3783	12025.38	87.6

Fonte: adaptado de Golden Motor, 2017.

4.4 CONTROLADOR FOC ADOTADO NA CONVERSÃO

O controlador FOC (*Field-Oriented Control*), adotado na conversão do Classe A, apresentado na Figura 24, foi especialmente projetado para motores *brushless* DC (BLDC) de alta potência entre 1kW até 15kW com tensões entre 48V e 96V, o qual utiliza algoritmo para controlar o campo magnético (FOC) no espaço vectorial (SV), modulação por largura de pulso (PWM) e microprocessador de 32 bits que incorpora o mais recente núcleo *Advanced RISC Machine* (ARM). O sistema FOC, também controla o torque e velocidade ao mesmo tempo e em tempo real, outra demanda de operação é o desempenho com controle de torque máximo, controle de potência constante, controle de circuito fechado de velocidade, parâmetros de ajuste no local, (através de software e PC), sistema função de auto-controle (power-on), frenagem regenerativa, modo de velocidade de cruzeiro, e led e som para indicar funcionamento e estado de irregularidade.

Figura 24. Controlador VE C500 -72V.



Fonte: acervo do autor, 2018.

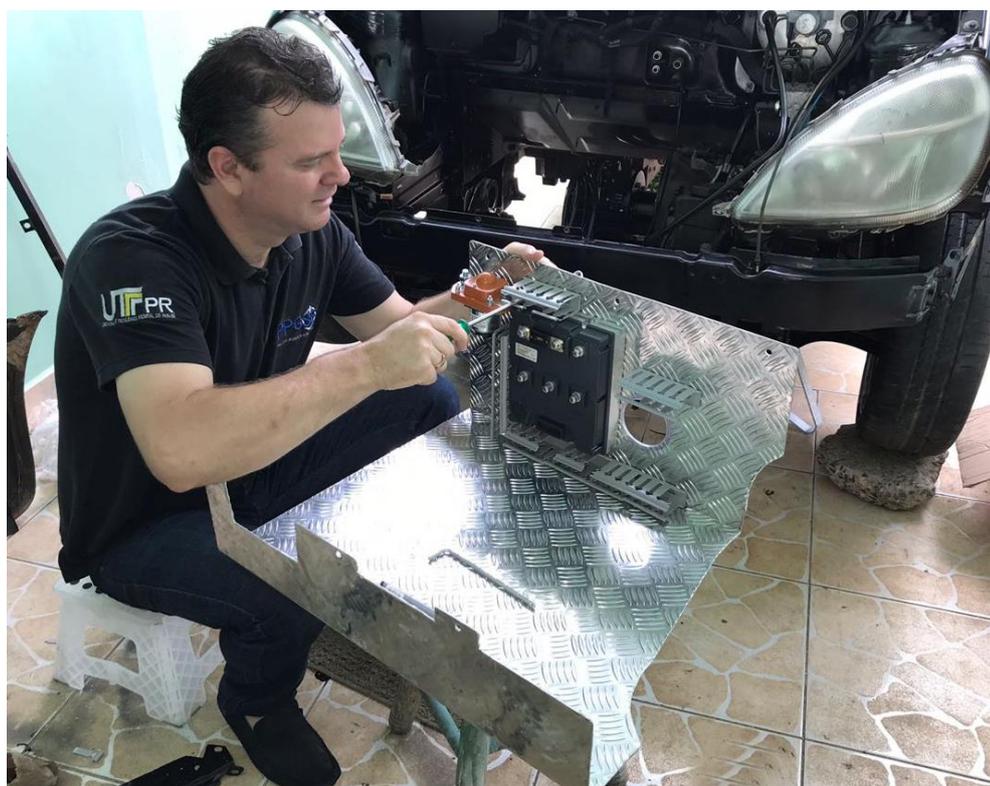
Sua tensão de alimentação pode ser 48VCC, 72VCC, ou 96VCC, corrente nominal 120A, corrente máxima por fase 300A, potência nominal de saída 1.000W a 10.000W, corrente de repouso (corrente *Quiescent*) do dispositivo entre 20 e 40 MA,

com peso de 2,5 kg, comprimento 190 milímetros, largura 180 milímetros, altura 50 milímetro.

4.4.1 Plataforma de fixação do Controlado FOC e Periféricos

Na Figura 25 mostra a plataforma construída sobre medida para a fixação do controlador e seus periféricos.

Figura 25. Fixação do Controlador FOC e Periféricos.



Fonte: acervo do autor, 2018.

4.5 ACUMULADOR 10,8 kWh (BATERIA) UTILIZADO NO ECO AUTO

Foi utilizado inicialmente um banco de baterias de 10,8 kWh de chumbo-ácido ciclo profundo, por apresentarem menor custo por Watts hora (Wh) em sua aquisição. Nas Figuras 26, e 27 é mostrado o banco de baterias de 10,8 kWh e a sua fixação no VE.

Figura 26. Banco de baterias de 10,8 kWh



Fonte: acervo do autor, 2018.

Figura 27. Fixação do banco de baterias de 10,8 kWh



Fonte: acervo do autor, 2018.

4.5.1 Sistema de Carregamento das Baterias

Carregadores de baterias, também conhecido como retificador, mantém uma corrente constante (ajustável externamente) independente do estado da bateria (*charge depleting or charge sustained*), funcionando como um gerador de corrente de carga cíclica ou de flutuação.

- Cíclica, é normalmente empregado em baterias descarregadas (*charge sustained*), porem nesse modo de operação não é recomendado que a bateria esteja sendo usada, pois a tensão de carga é mais elevada.
- Flutuação, opera com uma tensão de carga mais baixa, e mantém essa tensão constante, podendo operar o tempo todo conectado à bateria, alimentando outros equipamentos, ou pode ter um circuito de conexão e desconexão conforme o estado de carga da bateria.

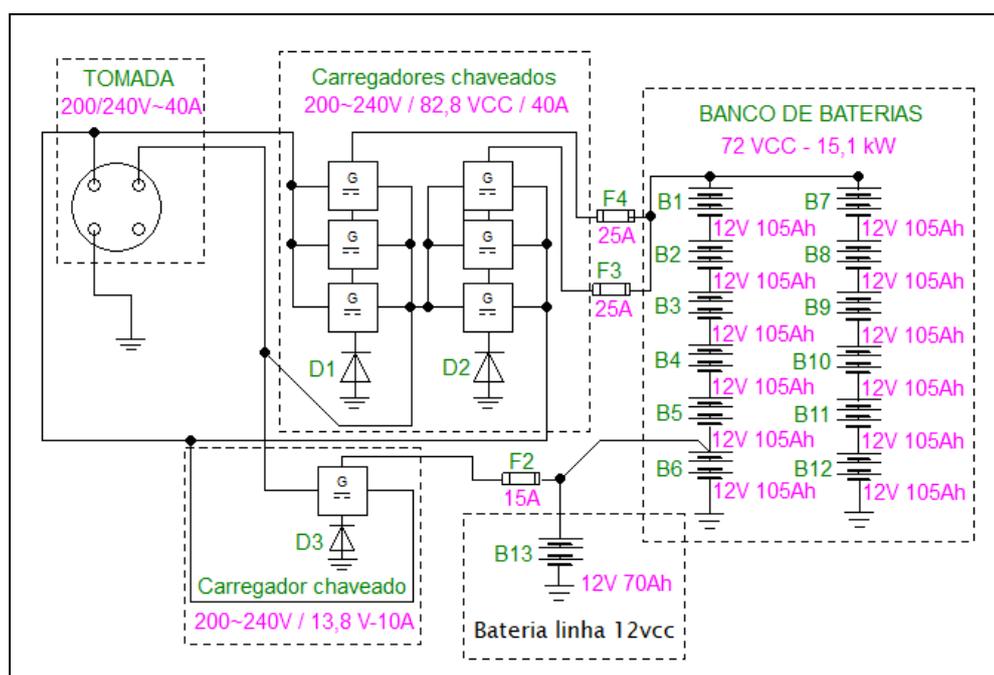
Ao se utilizar uma bateria de chumbo-ácido de 12V, por exemplo, deve-se atentar aos limites de tensão entre 10,5V para a tensão mínima e 14,8V para a tensão máxima, pois se ultrapassar esses valores sua vida útil decai rapidamente. Todas as baterias são construídas para terem durante sua vida útil um determinado número de ciclos de carga e descarga, entretanto, ela é construída para suportar poucos ciclos de descarga profunda, isto é, abaixo dos 10,5V, uma vez que a bateria tenha enfrentado esse tipo de condição, ela pode se tornar sulfatada e apresentar efeito de memória, isto é, indicar como carregada, mas perde sua carga rapidamente, pois não estava realmente carregada. Para carregamento das baterias do Eco Auto, foram inicialmente utilizadas seis fontes de alimentação de 27,6 Volts por 20 Amperes, ligadas em série e paralelas, configurando tensão total de 82,8 Volts por 40 Amperes. Na Figura 28 mostra a montagem do sistema de carregamento das baterias e na Figura 29 o digrama unifilar.

Figura 28. Montagem do Sistema de Carregamento das Baterias



Fonte: acervo do autor, 2018.

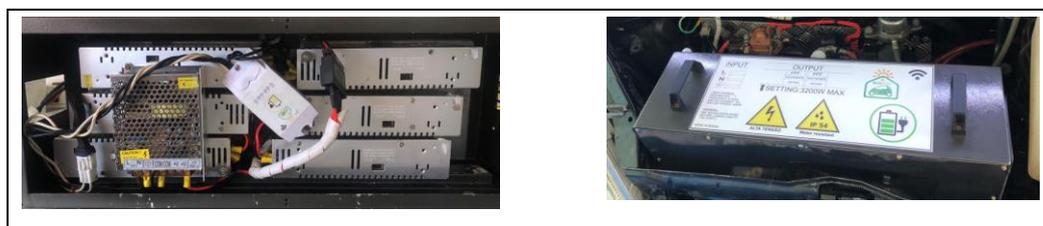
Figura 29. Diagrama Unifilar do Sistema de Carregamento das Baterias



Fonte: elaborado pelo autor, 2018.

Foi construído uma caixa de proteção IP54 com ventilação forçada, para condicionamento do carregador, mostrado da Figura 30.

Figura 30. Caixa de proteção do carregador das Baterias



Fonte: acervo do autor, 2018.

4.5.2 Plug 3P T – Vermelho 380VAC/32A

Como no Brasil não foi determinado um padrão de plugue e tomada para carregamento de veículos elétricos, na conversão do Classe A 190 foi utilizado plugue 3P T – vermelho, fabricado pela Sibratec com as seguintes características:

- Classe de proteção: IP67
- Corrente nominal: 32Amp
- Tensão de funcionamento: 380 V AC

Na Figura 31 mostra Plugue e a Tomada 3P T CCA-Sibratec, na Figura 32 mostra o Plugue e a Tomada já instalado no Eco Auto.

Figura 31. Plugue e Tomada 3P T CCA-Sibratec



Fonte: acervo do autor, 2018.

Figura 32. Plugue 3P T CCA-Sibratec



Fonte: acervo do autor, 2018.

4.5.2.1 Controle e Monitoramento de Carga

Segundo Rüther (2015), A utiliza  o de veículos elétricos em um ambiente de rede inteligente pode oferecer suporte para distribuidoras nos horários de pico de demanda, e reduzir o valor do kWh pago pelos seus proprietários no horário de ponta, seguindo esse conceito, foi utilizado uma placa de potência com interface de

comunicação via *wi-fi* para controle e monitoramento de carga com horário programável, ou seja, com essa placa é possível programar o horário de carga fora do horário de ponta (18:00 até as 21:00 horas), no qual o valor pago pelo kWh é menor. Para controle e programação dessa placa foi personalizado um aplicativo para sistema Android com armazenamento nas nuvens, podendo ser acessado pelo celular em tempo real para ligar ou desligar o sistema de carga independentemente da programação automática. Nas Figuras 33 e 34, são mostradas as telas das funções do aplicativo.

Figura 33. Ligado, desligado, e time loop.



Fonte: elaborado pelo autor, 2018.

Figura 34. Tempo ligado/desligado, potência no ciclo atual, e potência acumulada.



Fonte: elaborado pelo autor, 2018.

4.6 TRANSMISSÃO DE RELAÇÃO VARIÁVEL ADOTADO NA CONVERSÃO

Foi utilizada a transmissão de relação variável (caixa de marchas) original do veículo, com algumas modificações, a Figura 35 a seguir mostra o motor já acoplado a caixa de marchas.

Figura 35. Motor acoplado a caixa de marchas



Fonte: elaborado pelo autor, 2018.

4.6.1 Acoplamento do Motor x Caixa de Marchas

Foi construído um acoplamento com sistema de amortecimento de torque, para acoplar o motor direto a caixa de marchas sem utilização de embreagem, mostrado na Figura 36.

Figura 36. Acoplamento para Motor BLDC 72V/10000W



Fonte: acervo do autor, 2018.

4.7 ACELERADOR ADOTADO NA CONVERSÃO

Acelerador é um sistema que comanda aceleração do veículo, isto significa que o pedal do acelerador envia um sinal para unidade de controle (controlador FOC), a qual fornece o torque que o motor deve fornecer proporcionalmente a posição do pedal.

4.7.1 Características do Acelerador adotado na conversão

Na conversão do Classe A 190, foi utilizado um acelerador do tipo *Foot Throttle*, modelo FSC-010, com carcaça em alumínio fundido, resistente a água e com peso de 0,9 Kg, mostrado na Figura 37, o qual utiliza um sistema mecânico com sensor do tipo Hall. O Efeito Hall foi descoberto por Edwin H. Hall no final do século XIX, e consiste na produção de diferença de potencial através de um condutor elétrico, a qual é transversal a corrente no condutor e é perpendicular ao campo magnético dentro de um mesmo material, ou seja, o acelerador utilizando um sensor Hall vai controlar o diferencial de potencial através de fluxo magnético.

Figura 37. Acelerador do tipo *Foot Throttle*, modelo FSC-010



Fonte: acervo do autor, 2018.

4.7.1.1 Adaptação do acelerador no Eco Auto

Para um perfeito funcionamento do acelerador, foi construído um suporte e utilizado o pedal original do Classe A 190, mostrado na Figura 38 a seguir:

Figura 38. Suporte do pedal do acelerador



Fonte: acervo do autor, 2018.

4.8 CONSTRUÇÃO PAINEL DE COMANDOS E DE MEDIÇÃO DO ECO AUTO

Foi desenvolvido ícones específicas para simbolizar as funções dos comandos do Eco Auto, mostrado na tabela 12.

Tabela 12. Simbologia adotada

Função	Símbolo
Direção Elétrica	
Velocidade de Cruzeiro	
Frenagem Regenerativa	
Marcha Ré (inverte a rotação do motor)	

Fonte: elaborado pelo autor, 2018.

4.8.1 Painel de Comandos pronto

A figura 39 mostra painel de comandos pronto e em funcionamento, o mesmo foi incorporado paralelamente por um sistema embarcado por aplicativo.

Figura 39. Painel de comandos



Fonte: elaborado pelo autor, 2018.

4.8.1.1 Aplicativo utilizado para substituir painel de comandos manual

Foi desenvolvido um sistema embarcado com aplicativo personalizado para comandar as funções do Eco Auto, o mesmo substitui os interruptores mecânicos que são comandados manualmente por relês comandados remotamente via *Bluetooth*, As Figuras 40 e 41 mostram os ícones do aplicativo.

Figura 40. Comandos desligado



Fonte: elaborado pelo autor, 2018

Figura 41. Comandos ligado



Fonte: elaborado pelo autor, 2018

4.8.2 Painel de medição pronto

Foi mantido o painel de medição original do veículo com as seguintes modificações:

- ✓ Substituição das lampadas originais por leds da cor azul, mostrado na Figura 42.
- ✓ Remoção do medidor de combustível e adaptado medidor digital de carga e tensão das baterias, mostrado na Figura 43.
- ✓ Foi feita uma adaptação no botão de ajuste de mais (+) brilho do display do relógio para utiliza-lo no ajuste do medidor de carga das baterias, sem que comprometa sua função original.

A Figura 44 mostra painel de medição pronto e em funcionamento.

Figura 42. Instalação de leds da cor azul



Fonte: elaborado pelo autor, 2018

Figura 43. Adaptação do medidor digital de carga



Fonte: elaborado pelo autor, 2018

Figura 44. Painel de medição pronto



Fonte: elaborado pelo autor, 2018

4.9 SISTEMA DE SEGURANÇA

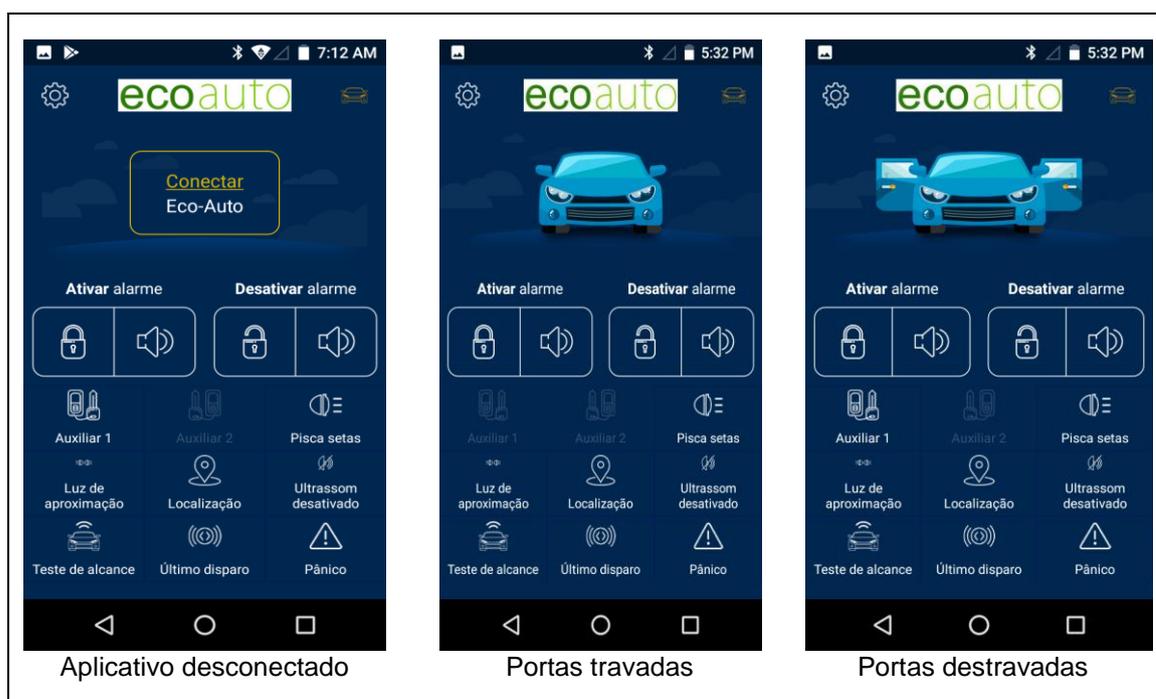
Foi instalado sistema de alarme comandado remotamente via *Bluetooth* através de aplicativo, com as seguintes funções:

- ✓ Desbloqueio das portas;
- ✓ Bloqueio das portas;
- ✓ Abertura dos vidros
- ✓ Pisca alerta;
- ✓ Função auxiliar;
- ✓ Função pânico (corta alimentação e pisca alertas);
- ✓ Personalização do tipo de som da sirene;

- ✓ Habilitação e desabilitação dos controles remotos;

Na Figura 45 mostra as telas do aplicativo, desconectado do Eco Auto, portas travadas e portas destravadas, respectivamente.

Figura 45. Telas do aplicativo de segurança



Fonte: elaborado pelo autor, 2018.

4.10 CONCLUSÃO DO ECO AUTO

Na Figura 46 é mostrado a vista interna, e na Figura 47 a vista externa do Mercedes Benz Classe A 190 já convertido para 100% elétrico, ou seja, o Eco Auto pronto.

Figura 46. Eco Auto vista interna



Fonte: acervo do autor, 2018

Figura 47. Eco Auto vista externa



Fonte: acervo do autor, 2018

4.11 AUTONOMIA DO ECO AUTO

Os fabricantes são rápidos a exaltar as virtudes econômicas dos veículos elétricos, eles destacam o baixo preço da recarga, ou mesmo grátis, em terminais públicos (prefeituras, *shopping center*, etc., em alguns países). A principal armadilha do veículo elétrico no estado atual da tecnologia é a autonomia (SILVA, J. E.; TONNIN, F.S.; URBANETZ JUNIOR, J. 2016). Nesse estudo foram utilizados os valores adquiridos através de ensaios com o Eco Auto.

Na tabela 13, mostra os valores obtidos em ensaios efetuados no centro da cidade de São Mateus do Sul - Paraná, e em rodovias pavimentadas, com objetivo constituir uma base de comparação e simular a condução em vários tipos de cenários, sendo área urbana ou rodovia.

Tabela 13. Autonomia do Eco Auto com motor 10kW

	Consumo de energia	Preço km rodado	Autonomia	Tarifa Copel subgrupo B1 Residencial R\$ 0,76897
	kWh/km	subgrupo B1	(km)	
Cidade	0,417	R\$ 0,320	36,2	
Rodovia	0,209	R\$ 0,160	72,2	
Média	0,313	R\$ 0,240	54,2	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.11.1 Método adotado nos ensaios

Para levantamento de dados de consumo de energia por km rodado, foi elaborada uma planilha (anexo 1), na qual foi registrado as seguintes variáveis:

- ✓ Data;
- ✓ Km rodado;
- ✓ Direção elétrica (on/off);
- ✓ Servo freio (on/off);
- ✓ Farol (on/off);
- ✓ Consumo de Energia;
- ✓ Tempo de carga;

- ✓ Tipo de percurso (cenário de utilização, cidade, rodovia, ambiente controlado).

4.11.2 Medição de consumo de energia por km rodado

Para medição da quantia de energia elétrica consumida por km rodado, foi montado um painel com medidor digital de consumo de energia, mostrado na Figura 48, e utilizado o seguinte método, com o banco de baterias com carga plena (*charge depleting*), foram percorridos vários quilômetros em cenários diferentes, sendo, no centro da cidade, na rodovia, e em cenário controlado (local fechado sem interferência externa), após cada cenário de utilização foi recarregado o banco de baterias e medido a quantia de energia necessária para retornar ao modo *charge depleting* (carga Plena) com isso, foi obtido o consumo energético quilowatt-hora por quilômetro rodado em cada cenário.

Para obter valor exato da energia necessária para repor a carga do banco de baterias, foi feito uma planilha de consumo de energia do carregador em modo de flutuação, ou seja, após carga plena do banco de baterias (*charge depleting*), foi zerado o consumo registrado no medidor, e deixado por 20 horas em modo de flutuação de carga, após tirado a leitura e feito a divisão entre kW/h, para obter o consumo de referência em modo de flutuação.

Figura 48. Medidor de consumo de energia



Fonte: acervo do autor, 2018.

5 UPGRADE DO ECO AUTO

Na conversão do Classe A 190, foi utilizado um motor *Brushless* de 72V 10 kW, após ensaios com Eco Auto pronto, foi constatado que o peso de 324kg do banco de baterias, limita seu desempenho nas subidas e a sua velocidade não ultrapassa aos 70 Km/h, havendo a necessidade de substituí-lo por um motor de maior potência.

5.1 NOVO MOTOR BRUSHLESS

Após análise de desempenho e eficiência do Eco Auto, foi determinado que a potência ideal para novo motor deve ser de 20kW, sendo assim, foi adquirido o novo motor *Brushless* com potência de 20kW alimentado por 72V, modelo HPM20KL, mostrado na Figura 49, o mesmo se difere do de 10kW, por ser mais robusto e possuir arrefecimento a liquido.

Figura 49. Motor de 20 kW modelo HPM20KL



Fonte: acervo do autor, 2018.

5.1.1 Novo motor acoplado na caixa de marchas

Na Figura 50 é mostrado o novo acoplamento construído para o motor de 20kW, e na Figura 51 mostra o motor já acoplado a caixa de marchas.

Figura 50. Acoplamento para motor de 20 kW



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Figura 51. Motor de 20 kW acoplado a caixa de marchas

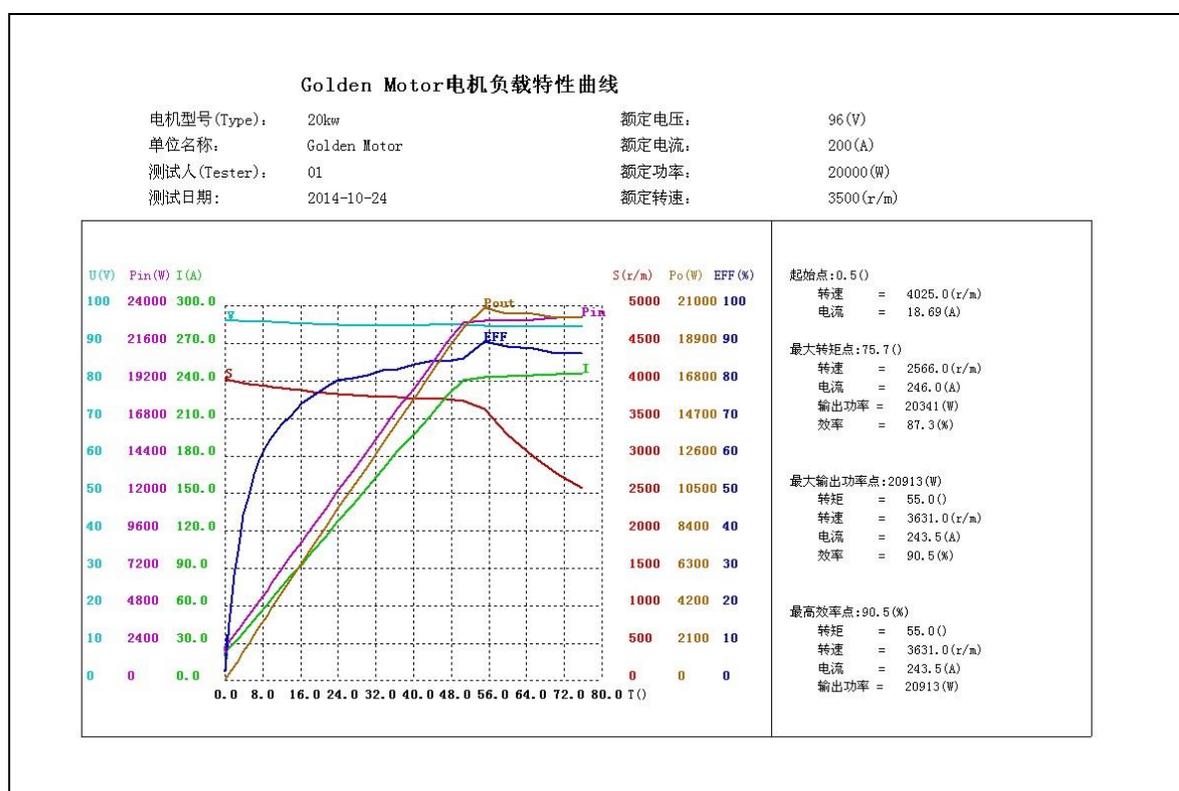


Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

5.1.2 Curva de Eficiência x Torque

Ao analisar a curva característica mostrada na Figura 52, é possível observar e a mesma traduz a condição real de carga a qual o motor está submetido, devido ao formato linear da curva, também é possível verificar que quando motor estiver trabalhando com metade da corrente nominal, o percentual de carga é de aproximadamente 50%.

Figura 52. Teste de eficiência motor BLDC 72V/20.000W

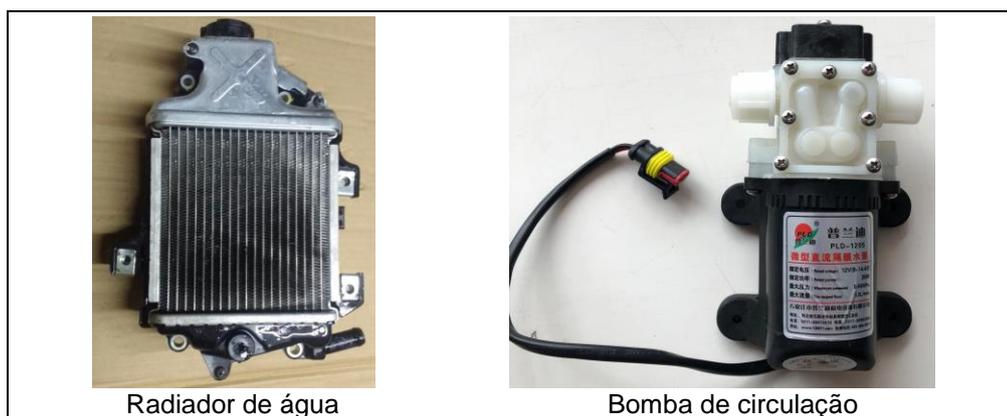


Fonte: adaptado de Golden Motor, 2018.

5.1.3 Radiador de água

Devido a potência do novo motor (20 kW), o fabricante só disponibiliza com arrefecimento a liquido, sendo necessário a adaptação de um radiador de água com uma bomba para circulação da água, mostrado na Figura 53.

Figura 53. Elementos do sistema de arrefecimento



Fonte: acervo do autor, 2018.

5.2 NOVO CONTROLADOR FOC

O novo controlador FOC (*Field-Oriented Control*) de 20kW, possui os mesmos recursos do controlador de 10kW, com a diferença de faixa de potência entre 1kW até 20kW, e o *design* modificado mostrado na Figura 54.

Figura 54. Controlador FOC – 1kW até 20 kW



Fonte: acervo do autor, 2018

5.3 ACUMULADOR 15,1 kWh (BATERIA) UTILIZADA NO ECO AUTO

Após substituição do motor de 10kW por um de 20kW, foi necessário aumentar a potência do banco de baterias, devido às limitações de espaço disponível para fixar

o novo banco de baterias de chumbo-ácido, máximo que foi possível elevar seu potencial para 15,1 kWh. Na Figura 55, é mostrado a montagem parcial do novo banco de baterias.

Figura 55. Banco de baterias 15,1 kWh

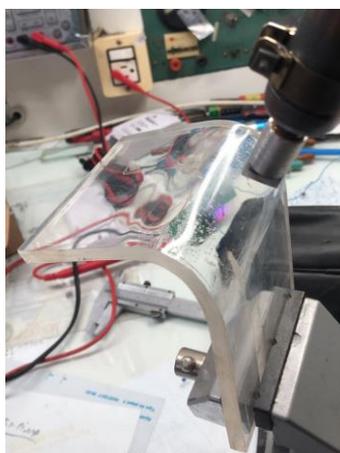


Fonte: elaborado pelo autor, 2018.

5.3.1 Isolador dos polos das Baterias

Foi necessário a fabricação de isoladores sobre medida para os pólos das novas baterias, a seguir na Figura 56 mostra o processo de dobra do acrílico, e na Figura 57 mostra os isoladores já instalados nas baterias.

Figura 56. Dobra dos isoladores



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Figura 57. Isoladores instalados nas baterias



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

5.3.2 Sistema de Carregamento do Banco de Baterias de 15,1 kW

Após aumento de potencial do banco de baterias, foi necessário a substituição do carregador, pois o mesmo não estava suportando nova carga, foi optado pela importação de um carregador para baterias de íon de lítio ou chumbo ácido comercialmente disponível e feito as adaptações necessárias, deixando-o com as seguintes características:

- ✓ Modelo do carregador 72V 30A;
- ✓ Dimensões: 348*200*93mm;
- ✓ Peso: 5,9 kg;
- ✓ Potência máxima 2500W;
- ✓ Tensão nominal de entrada 110-230V Hz 50-60;
- ✓ Maior tensão de saída 87,60V +/-0,2Vdc;
- ✓ Margem de erro de +/-0,2V;
- ✓ Corrente de saída 30A;
- ✓ Margem de erro de +/-0,2A;
- ✓ Modos Inteligentes de carregamento:
 - (Carga Cíclica (CC));
 - Carga de Tensão Constante (Flutuação);
- ✓ Proteção de sobre tensão;
- ✓ Proteção de limite de tensão;
- ✓ Proteção contra curto circuito;
- ✓ Indicador de carga:
 - Fonte de alimentação LED: Vermelho;

- Carregamento LED: vermelho;
 - Carregado LED: verde;
- ✓ Foi acrescentado ao carregador:
- Uma fonte externa de 12V 10A;
 - Um modem Wi-Fi 3G;
 - Placa de potência com monitoramento nas nuvens através de aplicativo.

As Figuras 58 e 59, mostram como ficou o novo carregador após as adaptações.

Figura 58. Novo carregador com fonte 12V 10A e wi-fi.



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Figura 59. Novo carregador de baterias.



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

5.3.3 Plug Conector AC J1772

Com objetivo de aumentar a segurança no momento de carregamento do Eco Auto foi substituído o Plugue e a Tomada 3P T CCA-Sibratec, pelo modelo Plug/Socket J1772, o qual é fabricado especificamente para veículos elétricos com as seguintes características:

- Atende padrões SAE 2012;
- Capa protetora, e fácil acesso botão de abrir/fechar;
- Classe da proteção: IP54 (em condições cobertas)²
- Feita de materiais não inflamável, resistência à abrasão, resistência ao impacto, resistência de óleo, e raios UV.

✓ Desempenho

- Temperatura de operação: -30 °C ~ + 50 °C
- Corrente nominal: 16A ou 32A
- Tensão de funcionamento: 120 ~ 240VAC
- Resistência de isolamento: > 1.000MΩ (DC500V)
- O aumento da temperatura do terminal: <50K
- Tensão suportável: 2.000V
- Impedância de contato: 0,5MΩ Max
- Resistência à vibração: Atende JDQ 53.3 requisitos

✓ Propriedades mecânicas

- Vida mecânica: não-carga plug in/pull out > 10.000 vezes
- Inserção e extração de força: 45N <F <80N

✓ Materiais

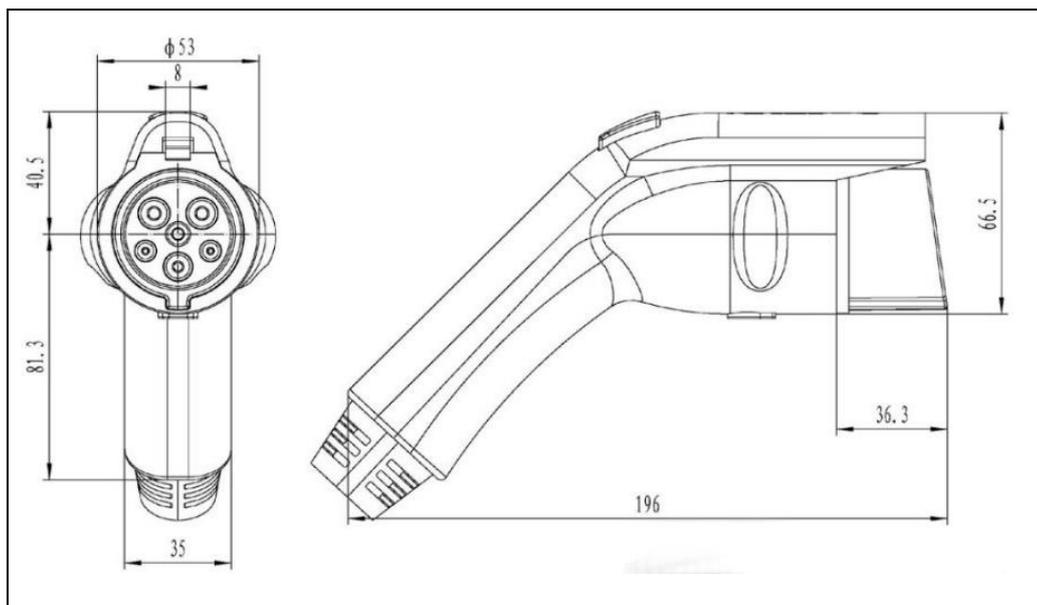
- Shell material: Termoplástico (isolador inflamabilidade UL94 V0)
- Pinos de contato: liga de Cobre, banhado em prata
- Junta de vedação: Borracha/Borracha de silicone

² Proteção contra poeira ingresso Limitado (sem depósito prejudicial) e protegidos contra respingos de água em qualquer direção.

- Interruptor de gancho: liga de Zinco

Na Figura 60 mostra as medidas em milímetros do Plug J1772, na Figura 61 a imagem do plug, e na Figura 62 o Plug acoplado no Socket.

Figura 60. Medidas em milímetros do Plug Conector J1772



Fonte: adaptado de DELEGREEN, 2019.

Figura 61. Plug Conector J1772



Fonte: acervo do autor, 2019.

Figura 62. Plug Conector J1772 acoplado no Socket



Fonte: acervo do autor, 2019.

5.3.3.1 Socket AC J1772

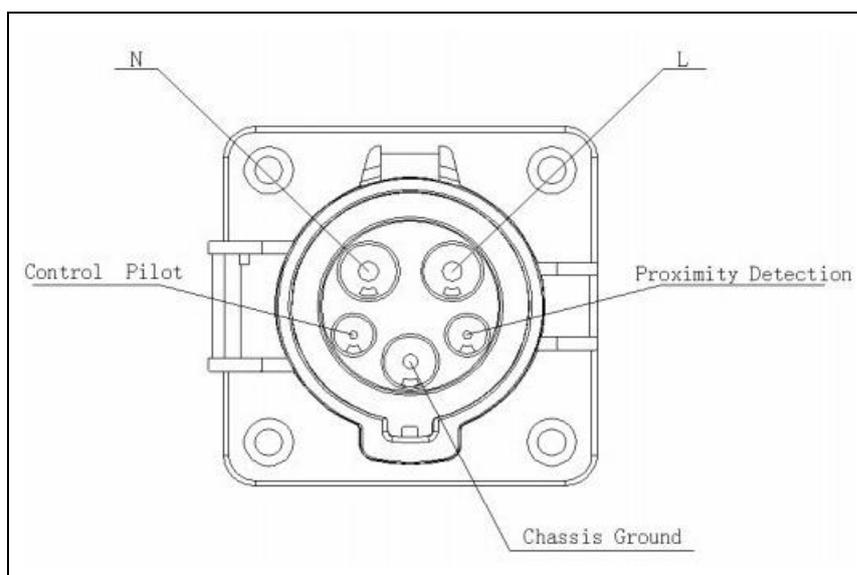
Tomada de entrada de carregamento modelo Socket AC J1772 M3/Tipo 1 com as seguintes características:

- Atende padrões SAE 2012;
 - Classe da proteção: IP54
 - Feita de materiais não inflamável, resistência à abrasão, resistência ao impacto, resistência de óleo, e raios UV.
- ✓ Desempenho
- Temperatura de operação: -30 °C ~ + 50 °C
 - Corrente nominal: 16A ou 32A
 - Tensão de funcionamento: 120 ~ 240VAC
 - Resistência de isolamento: > 1.000MΩ (DC500V)
 - O aumento da temperatura do terminal: <50K
 - Tensão suportável: 2.000V
 - Impedância de contato: 0,5MΩ Max
 - Resistência à vibração: Atende JDQ 53.3 requisitos
- ✓ Propriedades mecânicas
- Vida mecânica: não-carga plug in/pull out > 10.000 vezes

- Inserção e extração de força: $45N < F < 80N$
- ✓ Materiais
- Shell material: Termoplástico (isolador inflamabilidade UL94 V0)
 - Pinos de contato: liga de Cobre, banhado em prata
 - Junta de vedação: Borracha/Borracha de silicone

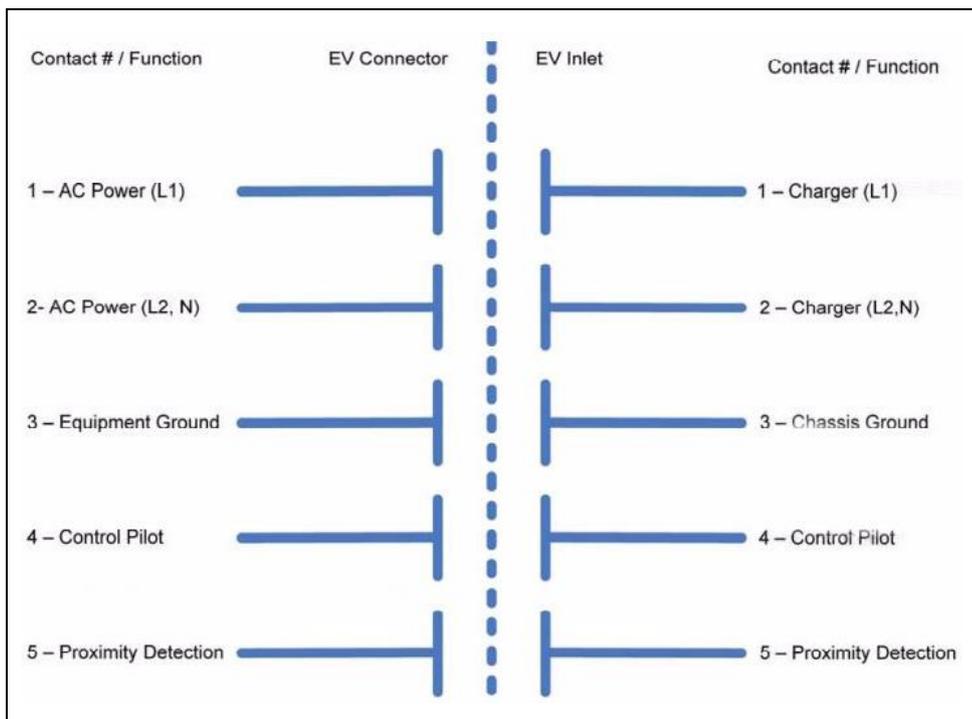
Na Figura 63 apresenta sequência dos pinos do Socket J1772, na Figura 64 o diagrama de conexão entre o Plug e Socket, na Figura 65 o diagrama de bloco modelo padrão de carregamento de veículos elétricos, na Figura 66 a imagem do Socket, e na Figura 67 o Socket instalado no Eco Auto.

Figura 63. Diagrama de conexão Socket J1772



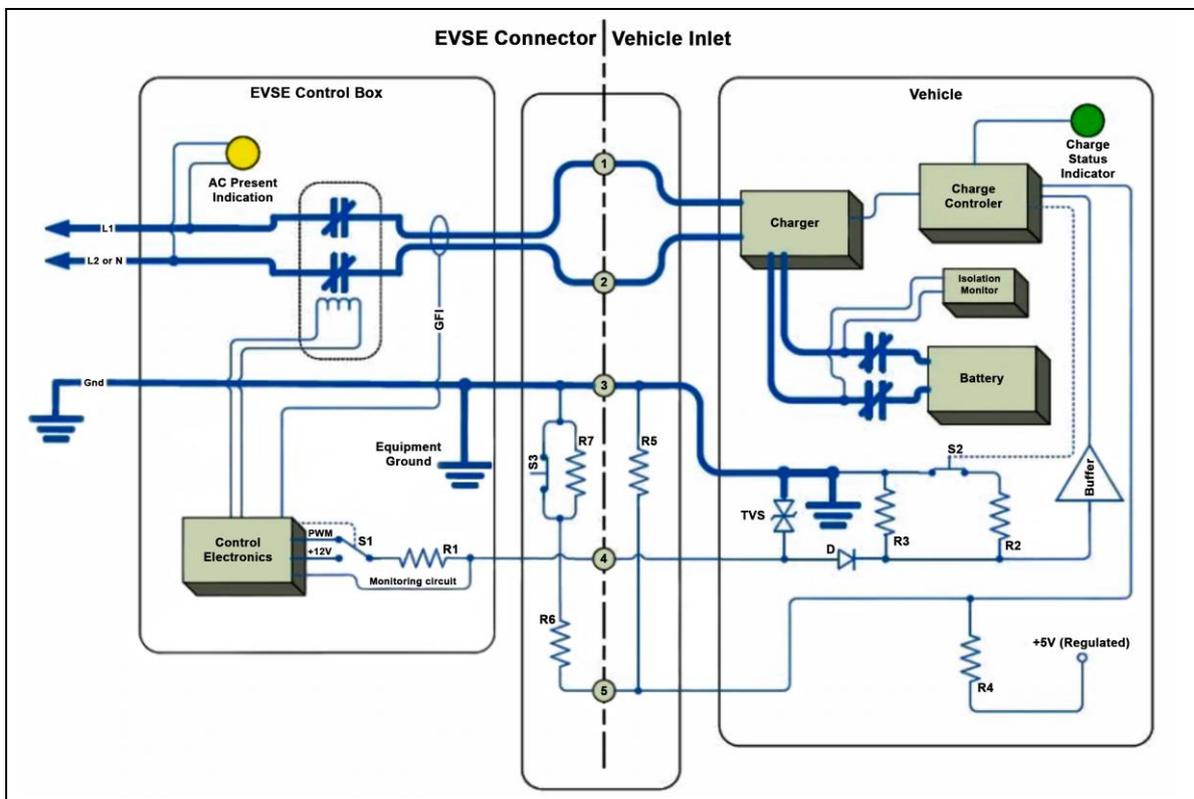
Fonte: adaptado de DELEGREEN, 2019.

Figura 64. Diagrama de conexão Plug/Socket J1772



Fonte: adaptado de DELEGREEN, 2019.

Figura 65. Diagrama de bloco do Plug/Socket J1772



Fonte: adaptado de DELEGREEN, 2019.

Figura 66. Socket J1772



Fonte: acervo do autor, 2019.

Figura 67. Socket J1772 instalado no Eco Auto



Fonte: acervo do autor, 2019.

5.4 CONCLUSÃO DO ECO AUTO PÓS - UPGRADE

Na figura 68 mostra o Mercedes Benz Classe A 190 (Eco Auto) já convertido para 100% elétrico vista interna, e nas figuras 69, 70 e 71 vistas externas.

Figura 68. Eco Auto vista interna



Fonte: acervo do autor, 2019

Figura 69. Eco Auto vista externa (1)



Fonte: acervo do autor, 2019

Figura 70. Eco Auto vista externa (2)



Fonte: acervo do autor, 2019

Figura 71. Eco Auto vista externa (3)



Fonte: acervo do autor, 2019

5.5 AUTONOMIA DO ECO AUTO APÓS UPGRADE

Na tabela 14 são apresentados os valores obtidos em novos ensaios efetuados com o novo motor, os quais foram realizados no centro da cidade de São Mateus do Sul-Pr, e em rodovias pavimentadas, com objetivo constituir uma base de comparação e simular a condução em vários tipos de cenários, sendo área urbana, rodovia e em ambiente controlado.

Tabela 14. Autonomia do Eco Auto com motor 20kW

	Consumo de energia	Preço km rodado	Autonomia	Tarifa Copel subgrupo B1 Residencial R\$ 0,76897
	kWh/km	subgrupo B1	(km)	
Cidade	0,290	R\$ 0,222	52,05	
Rodovia	0,279	R\$ 0,214	54,00	
Média	0,284	R\$ 0,218	53,02	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Como já citado anteriormente, na conversão do Classe A 190 inicialmente foi utilizado um motor *Brushless* de 72V 10 kW, e após ensaios foi constatado que o peso do banco de baterias limitava o desempenho nas subidas e a velocidade não ultrapassava aos 70 Km/h, após a substituição do motor de 10kW pelo de 20kW, melhorou significativamente o desempenho, atingindo a velocidade de 110 km/h em rodovias.

Na tabela 15, apresenta o comparativo dos valores obtidos nos ensaios efetuados com os dois motores no centro da cidade de São Mateus do Sul - Paraná, e em rodovias pavimentadas.

Tabela 15. Autonomia do Eco Auto com motor 10kW X 20kW

	Consumo de energia	Preço km rodado	Autonomia	Tarifa Copel subgrupo B1 Residencial R\$ 0,76897
Motor	kWh/km	subgrupo B1	(km)	
10kW	0,313	R\$ 0,240	54,20	
20kW	0,284	R\$ 0,218	53,02	
Média	0,298	R\$ 0,229	53,61	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.6 CONSIDERAÇÕES

É indiscutível que o veículo elétrico se mostra cada dia mais como uma solução para os altos preços dos combustíveis utilizados nos veículos com motor a combustão interna (MCI) e os diversos problemas de poluição produzidos por eles. Porém a questão é o seu custo de aquisição ainda é muito elevado, tornando-os inacessíveis para grande parte da população, por outro lado, a conversão de veículos convencionais para elétrico demonstrou ser uma alternativa viável, pois o mesmo atingiu uma média de 22 centavos por quilometro rodado a um custo de 76 centavos o kWh.

6 INSTALAÇÃO E MONITORAMENTO DE UM SFVCR

Nesse capítulo são apresentadas as etapas de instalação e monitoramento de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (SFVCR), sendo necessário seguir o seguinte roteiro:

- ✓ Detalhes: Localização;
- ✓ Consumo de energia média anual;
- ✓ Irradiação no plano no Painel Fotovoltaico (P_{FV});
- ✓ Módulos FV;
- ✓ Especificar: Inversor;
- ✓ Condutores CC e CA;
- ✓ Fixação do Painel FV;
- ✓ Fotos da montagem;
- ✓ Diagrama Unifilar do SFVCR.
- ✓ Monitoramento através de aplicativo

6.1 LOCALIZAÇÃO

A Figura 72 mostra o mapa do local disponibilizado para instalação da usina fotovoltaica, situado a rua Matos Costa, 515, centro, em Porto União - SC.

Figura 72. Mapa da localização



Fonte: Google Maps, 2018

6.2 CONSUMO DE ENERGIA

O empreendimento possui o histórico de consumo de energia dos últimos 12 meses, conforme apresentado na Tabela 16. Isso implica que a média de consumo do local é de 384,16 kWh/mês, sendo o pico de 537 kWh/mês atingido em março e março de 2017.

Tabela 16. Histórico de Consumo nos últimos 12 meses (kWh)

	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	media/mês
E =	410	384	537	407	349	370	363	360	370	374	353	333	384,16

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Com isso, o dimensionamento de um SFVCR de 384kWh/mês de geração de energia atenderá satisfatoriamente o consumo de energia do empreendimento. Considerando a taxa mínima da concessionária de energia de 100 kWh/mês, e após análise de sombreamento foi estimado uma perda em média mensal de 100 kWh/mês, que se iguala com a taxa mínima da concessionária de energia.

6.3 POTENCIAL DE ENERGIA

Foi utilizado o banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar e do programa RADIASOL para determinação da irradiação diária média incidente no plano do módulo:

- ✓ Porto União: Latitude 26° 23' 42,06" S e Longitude 51° 08' 30,50" W
- ✓ Coordenadas: Latitude -24,93° Longitude -51,08°
- ✓ Geração média de 384kWh/mês = 12,8 kWh/dia

A Tabela 17 representa os valores de irradiação global horizontal indicados pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar no local de instalação.

Tabela 17. Radiação Incidente Global horizontal (kWh/m² dia)

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
6,28	5,92	5,46	4,55	3,45	3,26	3,48	4,40	4,92	5,71	6,56	6,67	5,06

Fonte: adaptado de Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017

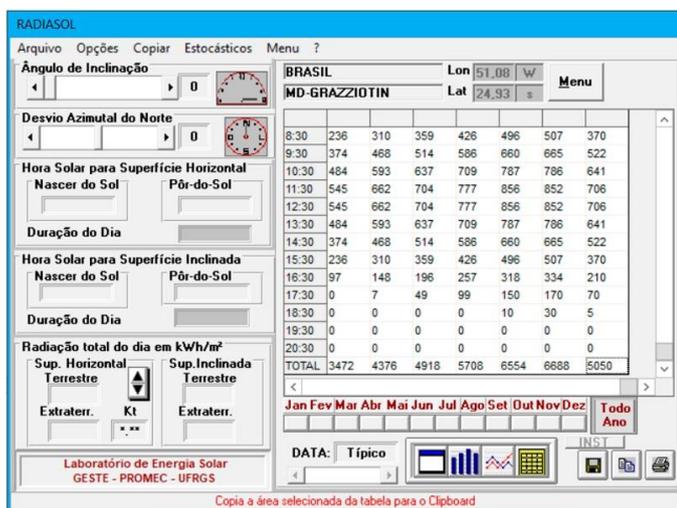
Com os dados da Tabela 16 cadastrados no programa Radiasol, foram obtidos os dados de irradiação para inclinação de 0°, 25°, e 35°, com desvio azimutal de 8° oeste, assim determinando qual a inclinação que apresenta maior ganho. Os dados de irradiação obtidos são ilustrados nas Tabelas 18, 19, e pelas Figuras 74 e 75.

Tabela 18. Radiação Incidente no Plano Inclinação Leste (Wh/m² dia)

Angulo	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
0°	6288	5910	5460	4536	3434	3258	3472	4376	4918	5708	6554	6688	5050

Fonte: Elaborado pelo autor com base programa RADIASOL

Figura 73. Resultado Plano sem inclinação



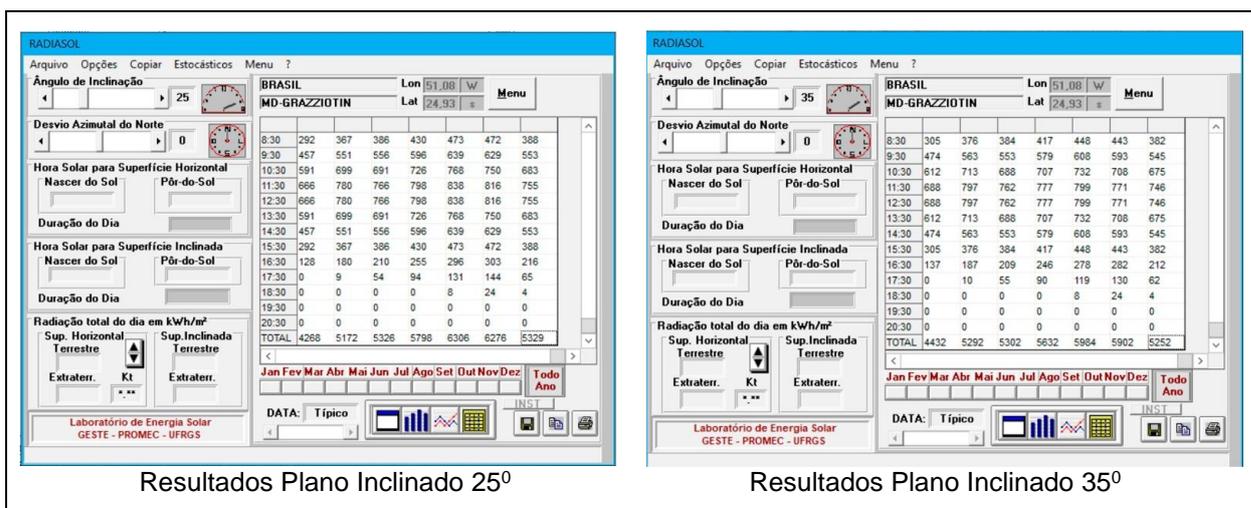
Fonte: Programa RADIASOL

Tabela 19. Radiação Incidente no Plano Inclinação Oeste (Wh/m² dia)

Angulo	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Media ano
25°	6004	5872	5742	5122	4028	4028	4268	5172	5326	5798	6306	6276	5329
35°	5690	5656	5648	5168	4124	4190	4432	5292	5302	5632	5984	5902	5252

Fonte: Elaborado pelo autor com base programa RADIASOL

Figura 74. Resultados Plano Inclinado em 25° e 35°



Fonte: Programa RADIASOL

O local para instalação do painel fotovoltaico está localizado em um terreno baldio, porém há edificações ao redor, havendo incidência de sombreamento no plano dos módulos. Após análise de sombreamento foi determinado que melhor rendimento da usina será no verão entre horário da 11:00 as 19:00, atingido maior pico as 14:00, e que os módulos fotovoltaicos devem ser montado ser montado inclinado com ângulo 25° desvio azimutal de 8° oeste.

6.4 DIMENSIONAMENTO DO PAINEL FOTOVOLTAICO

Para o dimensionamento do painel fotovoltaico foi considerado:

- ✓ Média de consumo anual do empreendimento;
- ✓ Irradiação diária média incidente no local disponibilizado para instalação do painel fotovoltaico;
- ✓ Nível de sombreamento causado por edificações ao redor.

6.4.1 Potência do Painel Fotovoltaico (P_{FV})

Com o intuito de dimensionar a potência do painel foto voltaico aplicou-se a Equação 1 que permite calcular a geração de energia de um sistema fotovoltaico.

$$P_{FV} = \frac{E.G}{H_{TOT} \cdot PR} \quad (1)$$

- $E.G$ = energia diária a ser gerada (kWh/dia)
- H_{TOT} = irradiação solar incidente no plano dos módulos FV (kWh/m² dia)
- PR = *Performance Ratio*

6.4.1.1 No plano Oeste (25°):

A Equação 2 apresenta a grandeza em questão.

- $E.G = 384 \text{ kWh/mês} = 12,8 \text{ kWh/dia}$
- $H_{TOT} = 5,329$
- $PR = 0,75$

$$P_{FV} = \frac{12,8}{5,329 \times 0,75} \quad (2)$$

$$P_{FV} = 3,20 \text{ kW}$$

6.4.1.2 Área necessária para instalar painel fotovoltaico (P_{FV})

Com o intuito de determinar a área necessária para instalação do painel fotovoltaico aplicou-se a Equação 3.

$$A = \left(\frac{P_{FV}}{E_{FF}} \right) \times 100 \quad (3)$$

- A = Área necessária para instalar (P_{FV})
- E_{FF} = eficiência de conversão da tecnologia fotovoltaica adotada (16,8%).

A Equação 4 apresenta a grandeza em questão.

$$A = \left(\frac{3,20}{16,8} \right) \times 100 \quad (4)$$

$$A = 19,08 \text{ m}^2$$

6.4.2 Características dos equipamentos escolhidos

Módulo fotovoltaico - Canadian (60CELLS-275W-POLY-SI)

- ✓ Potência nominal (Pmax) = 275 Wp
- ✓ Tensão Circuito aberto (Voc) = 38,0 V
- ✓ Tensão de operação (Vmp) = 31,0 V
- ✓ Corrente de curto circuito (Isc) = 9,45 A
- ✓ Corrente de operação (Imp) = 8,88 A
- ✓ tensão max de isolação = 1.000 VDC
- ✓ Eficiência de conversão = 16,8 %
- ✓ Temperatura de operacional = -40°C ~ +85°C
- ✓ J-Box IP67, 3 diodos
- ✓ Conector MC4 series

Inversor – Fronius Primo 3.0-1

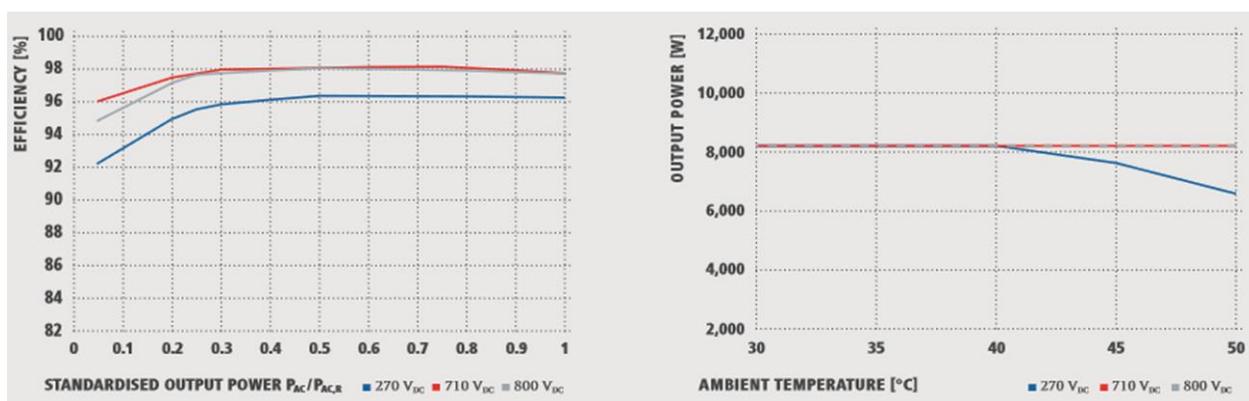
- ✓ Potência nominal = 3,0 kW
- ✓ Potência máxima = 4,5 kW
- ✓ Tensão máxima = 1000Vcc
- ✓ Corrente máxima de entrada por MPP = 2x 12,0 A
- ✓ Faixa de tensão de operação em MPP = 200-800 Vcc
- ✓ Tensão em MPP de maior eficiência = 710 Vcc
- ✓ Corrente máxima = 24,0A

O arranjo será composto por uma única série de 12 módulos totalizando 3,3 kWp de potência instalada, estimando-se assim a geração de 12,8 kWh por dia (384 kWh/mês). Sendo assim esta configuração resulta em:

- Tensão máxima da string = 12 módulos x 38,0 V = 456,0 V_{max}
- Tensão da string em MPP = 12 módulos x 31,0 V = 372,0 V_{cc}
- Corrente de entrada do inversor = 24,0A
- Corrente de curto circuito dos módulos = 9,45A
- Potência de entrada do inversor = 3,3 kWp

Observa-se que a tensão de operação em MPP do arranjo igual a 372,0 V_{cc}, está longe da tensão de operação em melhor eficiência do inversor igual a 710 V_{cc} conforme mostrado na Figura 75, a curva de eficiência:

Figura 75. Curva de eficiência do inversor



Fonte: adaptado de Fronius, 2018

6.4.3 Dimensionamento dos condutores

Com o intuito de dimensionar a bitola dos condutores, foi aplicada a Equação 5, que permite calcular a secção em milímetros quadrado do condutor.

$$S_{cond} = \left(\frac{2 \cdot l \cdot P \cdot 0,0178}{V^2 \cdot \Delta V} \right) \cdot 100 = \left(\frac{2 \cdot l \cdot I \cdot 0,0178}{V \cdot \Delta V} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

- l = Linha
- P = Potência total em Watts
- V = Tensão do barramento
- ΔV = Queda de tensão admitida (%)

$$\text{➤ } I = \text{Corrente } \left(\frac{P}{V} \right)$$

6.4.3.1 Área da seção transversal dos condutores de CC (mm²)

A Equação 6 apresenta a grandeza em questão.

- ✓ Comprimento do condutor CC = 30 metros
- ✓ Potência total do painel (FV) = 3200 Wp
- ✓ Tensão do barramento cc = 372 V
- ✓ Queda de tensão admitida = 0,4 %

$$S_{cond} = \left(\frac{2 \times 30 \times 8,6 \times 0,0178}{372 \times 0,4} \right) \cdot 100$$

$$S_{cond} = 6,2 \text{ mm}^2 \quad (6)$$

Lado CC: 30 metros, queda de tensão 0,4%, bitola calculada 6,2 mm², bitola adotada 6 mm².

6.4.3.2 Área da seção transversal dos condutores de CA (mm²)

A Equação 7 apresenta a grandeza em questão.

- ✓ Comprimento do condutor CA = 10 metros
- ✓ Potência total do Inversor = 3200 Wp
- ✓ Tensão do barramento CA = 220 V
- ✓ Queda de tensão admitida = 0,4 %

$$S_{cond} = \left(\frac{2 \times 10 \times 15 \times 0,0178}{220 \times 0,4} \right) \cdot 100$$

$$S_{cond} = 6,1 \text{ mm}^2 \quad (7)$$

Lado CA: 10 metros, queda de tensão 0,4%, bitola calculada 6.1 mm², bitola adotada 6 mm².

6.4.4 Índices de mérito do Painei Fotovoltaico (P_{FV})

A partir da energia estimada de geração foram obtidos os seguintes índices de mérito:

- Produtividade = 3.470 kWh/kWp ao ano;
- Fator de Capacidade = 15%.

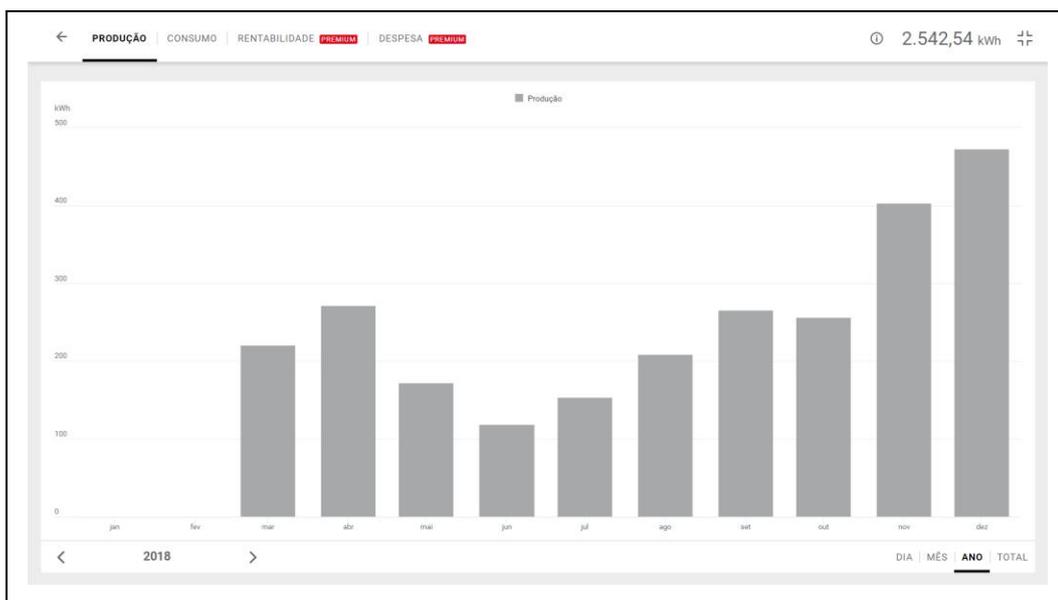
Foi estimada uma geração anual de 4,67 MWh de energia sem sombreamento, com sombreamento 3,47 MWh, após um ano de geração foi atingido 3,33 MWh mostrada nas Figuras 76, 77 e 78.

Figura 76. Geração anual atingida em 12 meses



Fonte: acervo do autor, 2019

Figura 77. Geração anual atingida 10 meses de 2018



Fonte: acervo do autor, 2019.

Figura 78. Geração anual atingida 3 meses de 2019



Fonte: acervo do autor, 2019

6.4.5 Montagem do Pannel Fotovoltaico (P_{FV})

Na Figura 79 mostra o sistema utilizado para montagem do pannel fotovoltaico, o qual foi feito ajuste de ângulo de inclinação de 20° para 25° , pois mesmo vem de fábrica com ângulo fixo de 20° .

Figura 79. Triângulo vertical



Fonte: adaptado de SICES, 2018

6.4.5.1 Fixação do Painel Fotovoltaico (P_{FV})

Na Figura 80 mostra o modelo de trilho, porcas e parafusos utilizados para fixação dos módulos fotovoltaico no triângulo.

Figura 80. Porcas e Parafusos para fixação



Fonte: adaptado de SICES, 2018

6.4.5.2 Cabeamentos do Painel Fotovoltaico (P_{FV})

Na Figura 81, mostra a conexão dos cabos através de conectores MC4.

Figura 81. Conexão do cabeamento



Fonte: acervo do autor, 2018

6.4.5.3 Programação do inversor

O modelo de inversor escolhido, possui conexão com internet via *wi-fi*, na Figura 82 mostra o momento de programação.

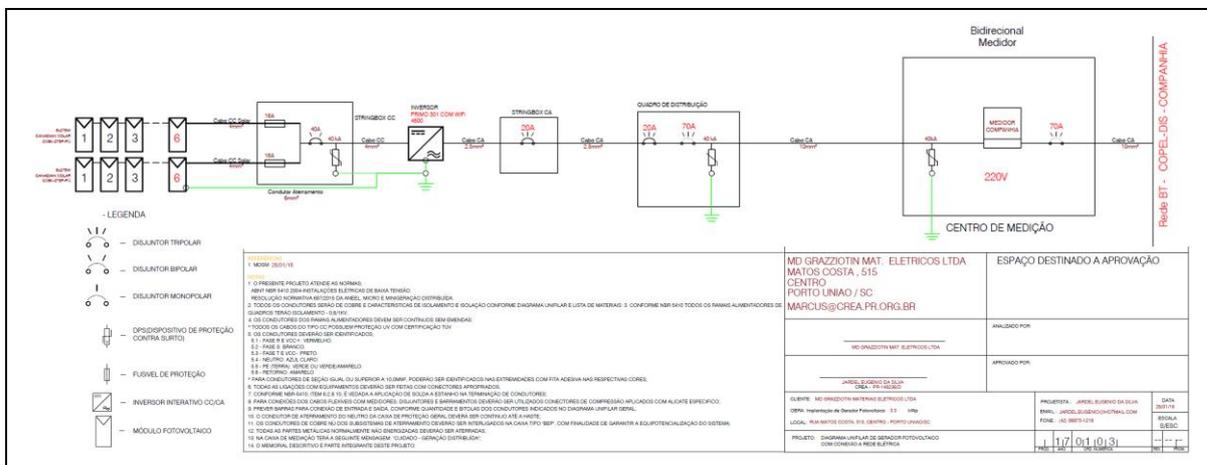
Figura 82. Programação inversor Fronius



Fonte: acervo do autor, 2018

6.4.6 Diagrama Unifilar do Gerador Fotovoltaico

Figura 83. Diagrama Unifilar

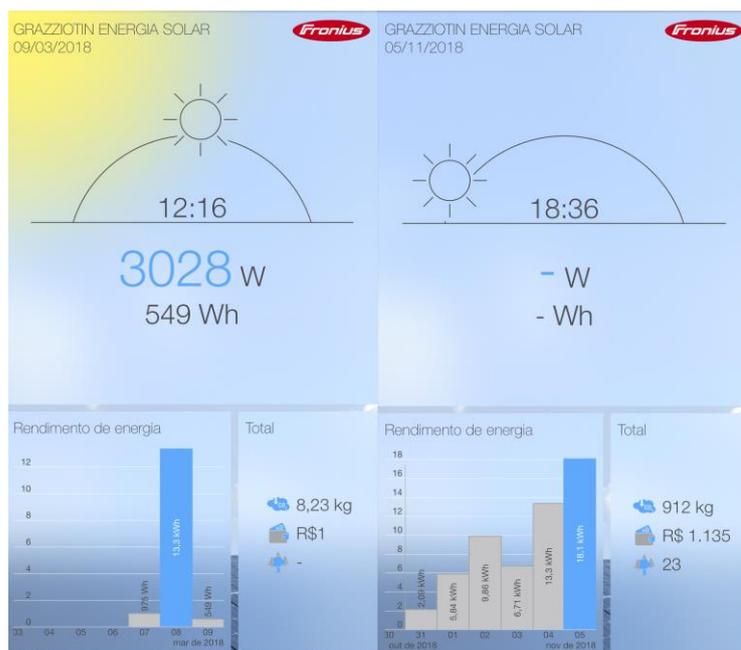


Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

6.4.7 Monitoramento através de aplicativo

O fabricante do inversor disponibiliza aplicativo para monitoramento e ajuste, através dos sistemas Android e iOS, mostrado na Figura 84.

Figura 84. Monitoramento através de aplicativo



Fonte: adaptado de Fronius, 2018.

6.5 COBERTURAS INDEPENDENTES

Sob o ponto de vista comercial, coberturas independentes podem ser um investimento atraente para fornecedores de soluções energéticas, que procuram aliar o *design* à micro geração fotovoltaica, pois podem ser instaladas independentemente da estrutura da residência ou comércio existente, diminuindo ou eliminando a necessidade de intervenções e reformas. A solução integrada, onde os módulos fotovoltaicos desempenham dupla função, atuando tanto como material de cobertura quanto componente do sistema de geração de energia elétrica, cumprindo as duas funções na edificação com custo reduzido, ou seja, quanto maior o custo evitado mais atraente e viável economicamente se torna a solução fotovoltaica.

6.5.1 Carport Solar

Carports solares são coberturas construídas a partir de painéis fotovoltaicos para cobrir áreas de estacionamento e gerar energia, os mesmo possuem semelhança com painéis solares instalados no solo, ou seja ambos eliminam a necessidade de uma superfície na qual os painéis possam ser fixados, como um telhado, sua principal diferença de uma instalação no solo é que os carports são mais altos para possibilitar que carros sejam estacionados abaixo.

Foi instalado um Carport na Sede Neville do Câmpus Curitiba da UTFPR, com 15 módulos fotovoltaicos totalizando 4,89 kWp de potência instalada.

6.5.1.1 Módulos Fotovoltaicos

O sistema do carport é composto por duas séries com a seguinte configuração:

- ✓ 9 módulos fotovoltaicos de silício policristalino (p-Si), do fabricante Jinko, com potência nominal de 320 Wp, totalizando 2,88 kWp de potência instalada;
- ✓ 6 módulos fotovoltaicos de silício policristalino (p-Si), do fabricante Canadian, potência nominal 335 Wp, totalizando 2,01 kWp de potência instalada;

Os módulos pertencentes ao Carport foram instalados com desvio azimutal de 21° à oeste, em inclinação de 10°. Na Tabela 20 são apresentados os principais parâmetros dos módulos instalados.

Tabela 20. Parâmetros elétricos dos módulos fotovoltaicos.

DESCRIÇÃO	JINKO	CANADIAN
Potência nominal [Wp]	320	335
Tensão de operação [V]	37,4	37,40
Tensão de circuito aberto [V]	46,40	45,80
Corrente de operação [A]	8,56	8,96
Corrente de curto circuito [A]	9,05	9,54
Eficiência [%]	16,49	17,23
Tensão máxima de isolamento [V]	1000	1000
Número de células	72	72
Dimensão [mm]	1956×992×40	1960×992×35
Peso [Kg]	26,50	22,40

Fonte: adaptado de JINKO; CANADIAN, 2019.

6.5.1.2 Inversor – Fronius Primo 5.0-1

O Carport foi instalado com inversor Fronius de 5 kWp, conforme as características indicadas na Tabela 21. O inversor foi instalado em muro construído a baixo do carport.

Tabela 21. Informações técnicas do inversor Fronius Primo 5.0-1

DADOS	
Potência Máxima CC	7500 W
Tensão Máxima CC	1000 Vcc
Proteção de sobre corrente CC	18/18 A
Faixa de tensão MPPT	80 - 800 Vcc
Corrente Máxima CC	12 A/MPPT
Tensão de rede nominal	220/230 (180-270) Vac
Corrente máxima CA	21,7 A
Frequência da rede	50/60Hz
Potencial Nominal CA	5 kW
Topologia	Não isolado
Temperatura de Operação	-40 °C...55 °C
Categoria de Proteção de sobre tensão CA	Categoria III
Categoria de Proteção de sobre tensão CC	Categoria II
Índice de Proteção	IP65

Fonte: adaptado de Fronius, 2019.

6.5.2 Estimativa de Geração do Carport

Em um primeiro momento, utilizaram-se os dados de irradiação horizontal mensal presentes no Atlas Paranaense de Energia Solar. A Figura 85 ilustra a coleta de dados de irradiação global horizontal realizada.

Figura 85. Coleta de dados de Irradiação



Fonte: Atlas Paranaense de Energia Solar, 2019.

A Tabela 22 representa os valores de irradiação global horizontal indicados pelo Atlas Paranaense de Energia Solar no local de instalação do carport.

Tabela 22. Irradiação global horizontal(kWh/m².dia)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Media ano
5,4	5,15	4,53	3,77	3,07	2,75	2,89	3,87	3,86	4,43	5,26	5,61	4,215

Fonte: Atlas Paranaense de Energia Solar, 2019.

Após computados os dados de irradiação global horizontal indicados pelo Atlas Paranaense de Energia Solar, com inclinação 10° e desvio azimutal de 21° oeste no programa Radiasol, foram obtidos novos dados, os quais são ilustrados na Tabela 23.

Tabela 23. Irradiação Mensal no Plano Inclinado (kWh/m².mês)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Media ano
5,41	5,20	4,66	3,94	3,26	2,97	3,1	4,12	3,99	4,51	5,28	5,61	4,337

Fonte: Elaborado pelo autor com base programa RADIASOL

Com os novos valores de irradiação, foi calculado a estimativa de geração de energia pelo Carport, sendo estes:

- Expectativa de média mensal de geração: 515,69 kWh/ mês.
- Expectativa de média anual de geração: 6,19 MWh/ ano.

Após obter as estimativas de geração de energia pelo Carport, foi elaborado a Tabela 24 com os cálculos de energia gerada mensal.

Tabela 24. Expectativa de Geração Mensal(kWh/mês)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Media ano
656,0	570,0	565,1	462,3	395,3	348,56	375,9	499,64	468,2	546,9	619,6	680,3	515,6

Fonte: Elaborado pelo autor com base programa RADIASOL

6.6 INTERAÇÃO SFVCR COM ECO AUTO

A Tabela 25 foi elaborada com os dados de geração fotovoltaica adquiridos durante um ano de funcionamento do SFVCR na empresa MD GRAZZIOTIN, e com a estimativa de geração do Carport. Para calcular a autonomia em km mês foi utilizado valor médio de 284 W por km rodado com o Eco Auto, para calcular o valor em reais, que poderá ser economizado, em gastos com energia elétrica, foi utilizado o preço

praticado pela Copel (Companhia Paranaense de Energia), tarifa convencional subgrupo B1 com impostos, custo em R\$/kWh, para determinar a quantia de CO₂ evitado foi usado como base um veículo de passeio com motor de 1.0cc a 2.0cc, o qual segundo PERSONAL CO₂ ZERO (2012), emite em média 0,06329 kg de CO₂ para cada quilômetro rodado, que multiplicado pela autonomia km/mês resulta a quantia de CO₂ evitado em quilo grama, e para determinar o valor financeiro evitado com gasolina, utilizou-se 12,5 km/L (12,5 quilômetros rodados com um litro de gasolina), consumo de gasolina informado pelo fabricante da Mercedes Classe A 190, com custo de R\$ 4,43 (quatro reais e quarenta e três centavos) por litro, preço médio praticado no Brasil na presente data (junho de 2019).

Tabela 25. Interação entre SFVCR com Eco Auto

Gerador	Geração kWh/mês	Autonomia km/mês	Valor financeiro/mês subgrupo B1	CO ₂ evitado kg	Valor financeiro evitado/mês com gasolina	Tarifa Copel subgrupo B1 Residencial R\$ 0,76897
MD GRAZZIOTIN	277,5	977,11	R\$ 213,30	61,84	R\$ 346,28	
Carport	515,6	1.815,49	R\$ 396,44	114,90	R\$ 643,40	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A Figura 85 mostra o Eco Auto sendo recarregado no Carport.

Figura 86. Eco Auto sendo recarregado no Carport.



Fonte: acervo do autor, 2019.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o aumento da acessibilidade e crescente demanda por veículos automotores movidos a combustíveis fósseis, e a poluição característica deste tipo de motor, os veículos elétricos aparecem como uma alternativa menos poluidora e se mostra cada dia mais como uma solução para os altos preços dos combustíveis utilizados nos veículos com motor a combustão interna (MCI), porém a questão é o seu custo de aquisição ainda é muito elevado, tornando-os inacessíveis para grande parte da população, como solução proposta, seria a conversão de veículos convencionais para 100% elétricos, a um custo acessível, e que tenha bom desempenho com boa relação de kWh por km rodado, através deste estudo comprovou que a conversão do veículo convencional da montadora Mercedes Benz, modelo Classe A 190 (Eco Auto), é uma alternativa viável, pois o mesmo atingiu uma média de 22 centavos por quilometro rodado a um custo de 76 centavos o kWh. Outra questão, com aplicação em massa de veículos elétricos como meio de transporte em centros urbanos, como suprir a demanda energética dessa nova carga no sistema elétrico, em vista disso, esse estudo correlacionou os dados de geração de energia elétrica de um SFVCR de 3,2 kWp em operação ininterrupta durante um ano, e percebeu-se que é possível que a energia elétrica gerada a partir desse sistema supra a demanda de carregamento da bateria do Eco Auto para percursos médios diários de 32 km e 60 km com energia proveniente do Carport instalado na UTFPR – Curitiba, a custo zero o quilômetro rodado, configurando-se como uma forma promissora de geração de energia elétrica em centros urbanos além de ser uma solução ambientalmente sustentável.

Espera-se, ao fim deste estudo, contribuir com o desenvolvimento científico e tecnológico do Brasil e da humanidade.

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir do estudo do desempenho e eficiência dos veículos elétricos e suas limitações, sugere-se para trabalhos futuros: estudo de novas tecnologia para acumuladores (baterias) tornando-os mais eficientes com maior densidade

energética, e com um custo de produção mais baixo, sabendo-se que eles são os limitadores de eficiência dos veículos elétricos em sua atual tecnologia.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – **ANEEL**. 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acessado 10 fev. 2017.

BARAN, R. **A introdução de veículos elétricos no Brasil: Avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/baran.pdf>. Acessado 10 fev. 2017.

BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. **Veículos Elétricos: História e Perspectivas no Brasil**. Rio de Janeiro: BNDS (Biblioteca Digital), 2010.

BILBAO, J.; MIGUEL, A. (2008). **Fundamentos, Dimensionado y Aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica**. Vol.1, tema 13: Radiación Solar. Madrid. Editorial Ciemat. ISBN: 978-84-7834-575-5.

BLOMEN, L. J. M. J.; MUGERWA, M. **Fuel cell systems**. Publicado em 1993. Disponível em: <https://www.amazon.com/Fuel-Cell-Systems-L-J-M-J-Blomen/dp/0306441586>. Acessado em 10 fev. 2017.

CHAN, C. C. A. B.; CHEN, K. **Electric, hybrid, and fuel-cell vehicles: architectures and modeling**, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 59, no. 2, pp. 589–598, fev. 2010. Disponível em: <https://www.eee.hku.hk/doc/ccchan/Electric,%20Hybrid,%20and%20Fuel-Cell%20Vehicles-%20Architectures%20and%20Modeling.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2017.

CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO – CPqD. 2015. **Mobilidade elétrica: caminho para um planeta sustentável**. Disponível em:

<http://www.cpqd.com.br/midia-eventos/conexaocpqd/conexao-cpqd-janeiro-2015>.

Acesso em: 12 fev. 2017.

DRIVING AND PARKING PATTERNS OF EUROPEAN CAR DRIVERS A MOBILITY SURVEY. Disponível em:

https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/reports/Driving_and_parking_patterns_of_European_car_drivers-a_mobility_survey.pdf. Acessado em 10 fev. 2017.

ELECTRIFICATION COALITION, **Electrification Roadmap - Revolutionizing Transportation and Achieving Energy Security.** Electrification Coalition, Washington, DC. 2009.

GAO, S. **Modelling, evaluation and optimization of vehicle-to-grid operation.**

In: International Electric Vehicle Symposium, EVS-25. European Association for Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicles (AVERE). The Journal's web site Disponível em: <http://www.evs24.org/wevajournal/index.html>. Acessado em 10 fev. 2017.

GERASOL. **Energia Solar.** Disponível em: <http://www.gerasolbr.com.br/energia-solar.html>. Acessado em 23 abril 2017.

HAMED, C. Wu M.; HUANG, J. **Vehicle-to-grid systems: ancillary services and communications.** Disponível em:

<http://ncel.ie.cuhk.edu.hk/sites/default/files/WuHamedHuangBook2011.pdf>. Acessado em 5 abril 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2010, p.32).

Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv46401.pdf>. Acessado em 03 fev. 2017.

IEA. **Technology Roadmap - Electric and plug-in hybrid electric vehicles**, International Energy Agency, Paris, França, 2009.

SILVA, J. E.; TONNIN, F.S.; URBANETZ JUNIOR, J. **Veículos Elétricos e a Geração Distribuída Partir de Sistemas Fotovoltaicos** – Smart Energy, 17 nov. 2016.

KOSOW, IRVING. L. **Máquinas Elétricas e Transformadores**. 15ª edição. São Paulo, Sp, p. 38-50, 2005.

MARTINS, J.; BRITO, F. **Carros Elétricos** – Publindústria, edições técnicas, Ltda, Portugal, p. 9-13, 2011.

MASIERO, G; OGASAVARA, M. H; JUSSAN, A. C; RISSO, M. L. **Electric Vehicles in China: Byd Strategies and Government Subsidies Rai** - Revista de Administração e Inovação, vol. 13, núm. 1, janeiro-março, p. 3-22, 2016.

MEUNIER, N. **La vérité sur la consommation des voitures électriques, (2012)**. Disponível em: <http://automobile.challenges.fr/dossiers/20120807.LQA3178/la-verite-sur-la-consommation-des-voitures-electriques.html>. Acessado em 03 abril 2016.

PINHO, T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPTEL - CRESESB, 2014. 179-203 p.

PORTO, L.G.C; CREPPE, R.C. **Modelo Matemático Para Analisar O Desempenho Dos Motores Elétricos Em Máquinas De Processamento De Arroz**. Departamento de Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia de Bauru – Universidade Estadual Paulista – UNESP, Bauru. Disponível em: www.feagri.unicamp.br/energia/agre2002/pdf/0010.pdf. Acessado em 28 mar. 2015.

REBECHI, S. **O potencial da geração solar fotovoltaica conectada ao sistema de distribuição urbano: estudo de caso para um alimentador com pico de carga diurno.** Florianópolis, 2008.

RÜTHER, R; PEREIRA JUNIOR, L.C; BITTENCOURT, A.H. Springer Science Business Media Singapore, 2015. S. Rajakaruna et al. (eds.), Plug In **Electric Vehicles in Smart Grids.**

STEPHEN, M. N. **School of Electrical & Electronic Engineering Newcastle University (2013).** Disponível em: <https://theses.ncl.ac.uk/dspace/bitstream/10443/2439/1/Naylor,%20S%2014.pdf>. Acessado em 10 fev. 2017.

URBANETZ JUNIOR, J. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade.** 2010. 32, 189 p. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – UFSC, Florianópolis – SC, 2010.

ZILLES, R.; MACÊDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. F. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica.** São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

DELEGREEN. **In Electric Vehicle Wiring Diagram.** Disponível em: <http://simplepilgrimage.org/electric-vehicle-wiring-diagram/in-electric-vehicle-wiring-diagram/>. Acessado em 13 Abril, 2019.

PERSONAL CO2 ZERO. **Ranking de Veículos em Emissões de CO2 por km rodado, 2012.** Disponível em: https://www.personalco2zero.com/estudo_emissoes_CO2/EstudoEmissoesporKM_revisado14nov.pdf. Acessado em 14 Ago. 2017.