

UTILIZAÇÃO DA ENERGIA DE UM VEÍCULO ELÉTRICO PARA ABASTECER UMA RESIDÊNCIA NO HORÁRIO DE PONTA

HORST HULDREISH ARDILA HAMADA MARQUES

Fevereiro de 2018

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
E INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

HORST HULDREISH ARDILA HAMADA MARQUES

UTILIZAÇÃO DA ENERGIA DE UM VEÍCULO ELÉTRICO PARA ABASTECER UMA
RESIDÊNCIA NO HORÁRIO DE PONTA

HORST HULDREISH ARDILA HAMADA MARQUES

UTILIZAÇÃO DA ENERGIA DE UM VEÍCULO ELÉTRICO PARA ABASTECER UMA
RESIDÊNCIA NO HORÁRIO DE PONTA

Trabalho apresentado sob o programa acadêmico de Dupla Titulação firmado entre a Universidade Presbiteriana Mackenzie e o Instituto Superior de Engenharia do Porto, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Elétrico no Brasil e Mestre em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia em Portugal.

ORIENTADORES NO BRASIL: PROF. DR. CLEBER ROBERTO GUIRELLI
CO-ORIENTADORA: PROFA. DRA. IVANILDA MATILE

ORIENTADOR EM PORTUGAL: PROF. DR. FERNANDO MAURICIO TEIXEIRA DE SOUSA DIAS

São Paulo

2015

Aos meus pais, que sempre me apoiaram na
busca dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

O sucesso deste trabalho se deu graças à ajuda de diversas pessoas, que me ajudaram desde o início de minha trajetória acadêmica. As vezes o auxílio não vinha na forma de conteúdo propriamente dita, mas de também de companhia e conselhos.

Agradeço aos meus orientadores brasileiros, Professor Doutor Cleber Roberto Guirelli e Professora Doutora Ivanilda Matile, pois desempenharam papel fundamental na lapidação das minhas ideias ao corrigir e evitar que me desviasse do caminho. Agradeço também o apoio do meu orientador português, o Professor Fernando Mauricio Teixeira De Sousa Dias pelo apoio e interface com Portugal, mesmo com a distância desempenhou o seu papel.

Não posso deixar de citar os coordenadores de curso professor Paulo Alves Garcia e a professora Teresa Nogueira, pois sem o real empenho deles esse trabalho não atingiria seu objetivo de me conceder uma dupla titulação, além de fortalecer os vínculos entre a Universidade Presbiteriana Mackenzie e o Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Ao final agradeço à minha família, namorada e amigos, por entenderem minhas eventuais ausências devido ao esforço empregado. Eles deram todo o suporte para que ainda tivesse força e não desistisse no meio do caminho.

“Todo o tema científico que não consegues explicar a um leigo, é porque não percebes nada do assunto.” (Carl Sagan).

RESUMO

Com uma tarifa horária diferenciada, o preço da energia elétrica é mais barato durante a madrugada, nos chamados horários de vazio, e mais caro no final da tarde, no horário de ponta.

Se não for possível evitar o consumo nos horários mais caros, uma alternativa é a de se comprar a energia durante o horário de vazio, armazená-la em uma bateria e devolvê-la à rede na ponta. Um dos componentes mais importantes dos veículos elétricos é justamente sua bateria, que é o equipamento responsável por armazenar energia necessária para sua utilização. O presente trabalho apresenta um estudo sobre a viabilidade econômica da utilização da energia disponível na bateria de um veículo elétrico para abastecer uma residência durante o horário de ponta. Através de simulações verificou-se que para alguns modelos/tipos de veículos, o sistema é economicamente viável. Para os proprietários de veículos híbridos, o sistema só é vantajoso se suas necessidades de condução diária forem muito pequenas. Já para os donos de veículos 100% elétricos, esse sistema pode trazer um retorno financeiro que justifica sua utilização.

Palavras-chave: Veículo Elétrico. Baterias. Compensação Energética.

ABSTRACT

With a different hourly rate, the price of electricity is cheaper during the night, in so-called empty hours, and more expensive in the late afternoon, at peak hours.

If you cannot avoid the consume in the most expensive periods, an alternative is to buy energy in the empty hour, store it in a battery and return it to the network at the peak hour. One of the most important components of electric vehicles is precisely its battery, which is the unit responsible for storing energy required for their use. This paper presents a study on the economic viability of the available energy stored in the battery of an electric vehicle to supply a residence during peak hours. Through simulations it was found that for some models/types of vehicles, the system is economically viable. For owners of hybrid vehicles, the system is only advantageous if their daily driving needs are very small. For the owners of 100% electric vehicles, this system can bring a financial return that justifies their use.

Keywords: Electric Vehicle. Batteries. Energy Compensation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Diagrama 1 – Veículo Híbrido Série	22
Diagrama 2 – Veículo Elétrico Híbrido Paralelo.....	23
Diagrama 3 – Veículo Elétrico Híbrido Misto	23
Diagrama 4 – Classificação dos Veículos Elétricos	24
Gráfico 1 – Densidade de Potência x Densidade Energética de Diferentes Tipos de Bateria.....	25
Quadro 1 – Resumo da Utilização das Baterias nos Veículos Elétricos.....	27
Diagrama 5 – Esquema De Ligação Do Veículo À Rede.....	28
Gráfico 2 – Penetração Esperado do Veículo Elétrico até 2020	30
Gráfico 3 – Divisão Diária Por Posto Tarifário	34
Fluxograma 1 – Funcionamento do Simulador	37
Tela 1 – Dados das baterias.....	38
Tela 2 – Entrada de dados do veículo	39
Tela 3 – Dados do condutor e utilização do veículo	40
Tela 4 – Dados de descarga da bateria	40
Tela 5 – Dados da Vida Útil da Bateria	43
Tela 6 – Dados Econômicos.....	44
Tela 7 – Custos Gerais	45
Quadro 2 – Principais Características dos Veículos Híbridos e Elétricos	46
Quadro 3 – Tempo de <i>Payback</i> por Veículo.....	49
Tabela 1 – Tempo de <i>Payback</i> Para Diferentes Perfis de Condução - Nissan Leaf.....	50
Tabela 2 – Capacidade Mínima de Bateria.....	51
Tabela 3 – Tempo de <i>Payback</i> Para Diferentes Perfis de Condução - Outlander	58
Tabela 4 – Tempo de <i>Payback</i> Para Diferentes Perfis de Condução - Nissan i3	59
Sequência de cálculos para obter o tempo de <i>payback</i> do sistema.....	60
Tela 8 – Dados das baterias.....	60
Tela 9 – Entrada de dados do veículo	60
Tela 10 – Dados do condutor e utilização do veículo	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i>
BMS	<i>Battery Management System</i>
BTE	Baixa Tensão Especial
BTN	Baixa Tensão Normal
CC	Célula de Combustível
DoD	<i>Depth of Discharge</i>
EDC	<i>European Driving Cycles</i>
EDP	Energias de Portugal
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
EUDC	<i>Extra Urban Driving Cycle</i>
EUDCL	<i>Extra-Urban Driving Cycle for Low-Powered Vehicles</i>
HEV	<i>Hybrid Electric Vehicle</i>
JDC	<i>Japanese Driving Cycles</i>
KPMG	Klynveld, Peat, Marwick e Goerdeler
Li-Ion	Lítio Íon
MCI	Motor à Combustão Interna
MT	Média Tensão
NEDC	New European Drive Cycle
NiHM	Níquel-Hidreto Metálico
PdD	Profundidade de Descarga
SoC	<i>State of Charge</i>
SGORME	Sociedade Gestora De Operações Da Rede De Mobilidade Eléctrica
USDC	<i>United States Driving Cycles</i>
V2G	<i>Vehicle-to-grid</i>
VE	Veículo Elétrico
VHEP	Veículo Elétrico Híbrido <i>Plug-in</i>
WLPT	<i>Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivo geral	13
1.1.2	Objetivos específicos	14
1.2	JUSTIFICATIVA	14
1.3	METODOLOGIA	16
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2	REVISÃO DA LITERATURA – O ESTADO DA ARTE	18
3	VEÍCULOS ELÉTRICOS	21
3.1	VEÍCULO PURAMENTE ELÉTRICO – BEV	21
3.2	VEÍCULOS À CÉLULA DE COMBUSTÍVEL	21
3.3	VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS – HEV	21
3.3.1	Veículo Elétrico Híbrido Série	22
3.3.2	Veículo Elétrico Híbrido Paralelo	22
3.3.3	Veículos Elétricos Híbridos Mistos	23
3.4	VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS PLUG-IN – VHEP	23
3.5	BATERIAS PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS	24
3.6	SISTEMA DE LIGAÇÃO DO VEÍCULO À REDE	28
3.7	O MERCADO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS	29
4	ESTUDO DE CASO	31
4.1	O SISTEMA TARIFÁRIO BRASILEIRO.....	32
4.2	O SISTEMA TARIFÁRIO PORTUGUÊS.....	32
4.2.1	Compensação de Energia Elétrica	34
4.3	DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA DISPONÍVEL NA BATERIA	35
4.4	FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO DE COMPENSAÇÃO ENERGÉTICA.....	36
4.4.1	Entrada de dados	37
4.4.1.1	Entrada de Dados da Bateria.....	38
4.4.1.2	Entrada de Dados do Veículo.....	38
4.4.1.3	Entrada de Dados do Condutor/Utilização do Veículo.....	39
4.4.2	Saída de dados	40
4.5	SIMULAÇÃO DE DADOS.....	45
4.5.1	Custos do Sistema	46

4.5.2	Hábitos de Condução do Consumidor Médio Português	47
4.5.3	Diferentes Perfis de Condução.....	48
4.5.4	Energia Mínima da Bateria para o Usuário	48
5	RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	49
5.1.1	Resultados Para o Cidadão Médio Português	49
5.1.2	Resultados Para Diferentes Perfis de Condução.....	50
5.1.3	Definição Da Menor Energia da Bateria Para Cada Perfil.....	51
6	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS	54
	APÊNDICE A	58
	APÊNDICE B.....	59

1 INTRODUÇÃO

Modalidade tarifária é o conjunto de tarifas aplicáveis ao consumo de energia elétrica e demanda de potência ativa, podendo ser divididas em tarifas convencionais e tarifas horárias (ANEEL 2012).

Nas tarifas convencionais, o cliente é cobrado igualmente pela energia elétrica que consome independente do horário do dia ou período do ano. Já a cobrança de energia elétrica nas tarifas horárias é caracterizada por refletir os custos de outras variáveis, como o período dia que o consumo ocorre e custo de geração.

No Brasil, essa modalidade tarifária que busca repassar à tarifa e ao consumidor um reflexo do custo da geração de energia elétrica é conhecida como tarifa diferenciada. Já em Portugal, dá-se o nome de tarifas dinâmicas. As tarifas horárias são um exemplo de tarifas diferenciadas.

Para o brasileiro, uma opção de tarifa diferenciada é a tarifa branca, na qual o consumidor tem a possibilidade de pagar valores diferentes pela energia elétrica em função do dia da semana e da hora do dia (horário de ponta, das 19h às 21h, intermediário, uma hora imediatamente antes e uma depois da ponta, e fora de ponta, que equivale ao restante do dia).

Já em Portugal, as tarifas horárias são conhecidas como tarifas com variação temporal, segundo a ERSE (2014). Elas têm funcionamento semelhante à tarifa branca brasileira, refletindo em seu custo fatores como hora do dia e utilização da rede.

Quando comparado um horário de ponta a um mesmo período fora da ponta, a taxa de demanda e de energia elétrica é cerca de 200% e 300% maiores, respectivamente (HERMSDORFF E OLIVEIRA FILHO, 2000). Por esse motivo, o custo de energia elétrica e da demanda pode chegar a até nove vezes mais que seu corresponde em um horário normal.

Como alternativa às altas tarifas na ponta, a geração independente de energia elétrica no horário de ponta pode ser um sistema economicamente viável, e tanto o é, que já é um serviço prestado por grandes empresas.

A Petrobras Distribuidora, por exemplo, para clientes de média tensão presta um serviço chamado **Geração na Ponta** que constitui na instalação de uma central geradora à base de Biodiesel e que garante uma economia na conta de energia elétrica e também independência energética em caso de apagões e possíveis racionamentos (PETROBRAS, 2014).

Além das opções tradicionais do uso de energia térmica com uso de biodiesel, lenha, bagaço de cana-de-açúcar e gás natural, por exemplo, Hermsdorff e Oliveira Filho

(2000) ainda sugerem a utilização de um conjunto de baterias e inversores de frequência para o armazenamento de energia elétrica nos horários fora de ponta e sua utilização na ponta. Esses fatores aliados à utilização de uma tarifa diferenciada podem vir a ser viáveis economicamente.

Não existem só grandes sistemas de geração para autossuficiência como o serviço prestado pela Petrobras, os pequenos conjuntos de geração e armazenamento de energia elétrica independentes já são estudados e utilizados há tempos.

Um exemplo de um desses pequenos sistemas é o uso da frenagem regenerativa em veículos com tração elétrica, entre eles trens, metrô e carros elétricos, que consiste no aproveitamento de parte da energia cinética gerada pelos freios do veículo, convertendo, armazenando-a em uma bateria e a reutilizando (SANTOS, 2009).

Com tamanha capacidade em suas baterias, os veículos elétricos podem ser utilizados como dispositivos armazenadores de energia. Isso pode ser útil para compensar a natureza intermitente das fontes renováveis de energia. Para um sistema de geração solar, por exemplo, é dimensionado um banco de baterias que seja capaz de armazenar energia nos momentos em que há geração e suprir o sistema nos períodos de baixa insolação.

Pensando em uma instalação residencial de um cliente que possua um veículo elétrico, o usuário poderia utilizar a energia armazenada na bateria, após um dia de trabalho para suprir sua casa por um determinado período de tempo.

Indo além, em países como Brasil e Portugal nos quais existe tarifas horárias, surge a possibilidade de se comprar energia elétrica da concessionária em horários em que ela é mais barata e utilizá-la para compensar seu consumo no horário de ponta, período no qual essa mesma energia seria mais cara, gerando uma economia ao final do mês.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade econômica da utilização da energia armazenada na bateria de um veículo elétrico em conjunto com uma tarifa diferenciada para alimentar uma residência no horário de ponta.

1.1.2 Objetivos específicos

Estudar quais os benefícios da utilização do sistema proposto para o usuário, visando diminuir o consumo de energia elétrica proveniente da rede nos horários de ponta.

Definir para quais diferentes perfis de condução de veículos a utilização do sistema de compensação é vantajosa.

Delimitar a capacidade energética mínima da bateria para cada tecnologia de veículo elétrico e perfil de condução.

1.2 JUSTIFICATIVA

Um estudo da empresa KPMG feito em 2014 aponta as principais megatendências do mundo até o ano de 2030. Dentre elas pode ser citada a Urbanização, que é um dos efeitos do êxodo rural, no qual as pessoas começam a migrar e dar preferência por morar em cidades. Estima-se que até 2030, pelo menos dois terços da população mundial deixe o campo e vá para um centro urbano.

Esse efeito traz consequência direta na qualidade de vida das pessoas, uma vez que o aumento demográfico dá-se rapidamente e sem planejamento. A poluição e trânsito caótico enfrentado em São Paulo é um exemplo do que acontece com uma cidade com milhares de habitantes e veículos.

Não só isso, mas em um momento em que discute a questão de sustentabilidade e preocupação com o meio-ambiente, a poluição gerada pelos carros é um fato que vem preocupando os governos mundiais. Outro aspecto preocupante são as quantidades limitadas de combustíveis fósseis e a localização de suas reservas, concentradas em poucos países, deixando vulneráveis aqueles que não a possuem.

Como forma de contornar a dependência do petróleo, muitos países, a exemplo de Portugal, investem para ter uma matriz baseada em energias renováveis. Porém devido à sua natureza intermitente, não é certo que teremos recursos naturais sempre que precisemos deles, no caso da energia fotovoltaica, é necessário que tenhamos sol para geração, e ventos fortes no caso da eólica.

A introdução em massa do veículo elétrico pode ajudar a resolver grande parte desses problemas, uma vez suas principais vantagens estão no fato de não produzirem ruídos durante o funcionamento, não emitirem gases poluentes causadores do efeito estufa e também a independência dos combustíveis fósseis.

As baterias elétricas que os veículos elétricos (VE) possuem, pensando em um país com uma frota baseada nessa tecnologia, podem armazenar grandes quantidades de energia, servindo não apenas para movimentar o carro, mas também como armazenador de energia em momentos que há excedente de produção para descarregá-la de volta na rede no horário de ponta.

O horário de ponta é o horário em que há maior demanda por energia elétrica. No Brasil corresponde a um intervalo de 3 horas consecutivas entre as 17h e 22h, definido de acordo com a distribuidora.

Já em Portugal há a segmentação diária entre os horários de vazio, de cheia e de ponta. As horas de vazio são os períodos do dia em que o consumo de eletricidade é mais barato, enquanto as horas de ponta são mais caras. Os períodos de cheia correspondem ao restante do dia, e possuem tarifa intermediária. O intervalo de cada posto tarifário pode diferir se o país está em regime de horário de inverno ou de verão (ERSE, 2014).

De acordo com estudos realizados pela Direcção Geral de Geologia e Energia (2004), semelhante ao que ocorre no Brasil, Portugal tem em seu horário de ponta no setor residencial, aproximadamente o dobro da demanda que possui durante o restante do dia.

Esse setor foi eleito pela Comissão Europeia como um dos setores essenciais para intervenção a título de eficiência energética, uma vez que representa 16% do consumo nacional com taxas de crescimento média de 7% ao ano.

Paralelamente, há a opção de tarifas diferenciadas para energia elétrica, que tarifa o usuário de acordo com o posto tarifário (horas de vazio, de cheia e de ponta). De forma contrária, a tarifa convencional cobra o mesmo valor para a energia independente do período do dia. As tarifas variáveis ao longo do dia são uma estratégia de faturação que já existe em outros segmentos, como no setor de telecomunicações, por exemplo.

Nesse contexto, analisando a vantagem econômica de um consumidor ser autossuficiente no horário de ponta combinado com a utilização de uma tarifa horária, torna-se viável a opção de se armazenar energia no horário de vazio, no qual é mais barata, e utilizá-la na sua casa durante o horário de ponta, onde pagaria mais caro por ela.

Ao final de cada mês, além da economia na fatura de energia elétrica, o condutor teria também uma fonte de renda adicional, além de contribuir para reduzir emissões de poluentes, facilitar a integração de energia renováveis e também como método de regulação da rede (BRIONES et al., 2012), além de claro, ser um incentivo ao uso do veículo elétrico.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia empregada neste trabalho é, principalmente, de caráter descritivo ao se analisar todo o funcionamento dos veículos elétricos, as diferentes tecnologias empregadas na sua construção, como elas impactam em seu desempenho e o funcionamento de suas baterias.

No que toca às baterias, foram estudados os diferentes tipos disponíveis e que podem equipar um veículo com tração elétrica, quais suas vantagens, desvantagens e as tecnologias predominantes. Estudou-se também suas principais características elétricas e como cada uma delas seria importante para a definição da energia disponível para ser descarregada na rede elétrica.

Além do veículo, foi feita uma pesquisa bibliográfica a respeito do perfil comum de condução dos motoristas portugueses, a fim de verificar quais são seus hábitos ao volante e suas necessidades diárias de condução.

Após análise das principais características do veículo elétrico, a pesquisa bibliográfica se deu no sentido de entender quais equipamentos eram necessários para se efetivar a compensação da energia da rede com a que estava disponível na bateria.

Depois de compreendido o funcionamento da cada uma das variáveis acima citadas e como elas se comportam em conjunto, esses dados foram usados para elaborar o programa responsável pelo cálculo do tempo previsto para *payback* do sistema, bem como seu retorno financeiro.

Uma vez de seu funcionamento, escolheu-se dentre os modelos disponíveis no mercado, os veículos elétricos para os quais o perfil de condução do cidadão português será testado, a fim de validar os objetivos propostos além de se verificar se a aplicação desse sistema será financeiramente vantajosa.

De posse dos modelos, foram simuladas diferentes situações, variando perfis de condução a fim de se obter, para cada modelo de veículo quais os hábitos de consumo mais indicados para que aquele usuário tenha um retorno financeiro.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em seis seções.

A Seção 1 se inicia com a Introdução que aborda os seguintes itens: o que é modalidade tarifária, bem como as tarifas utilizadas no Brasil e em Portugal, e o conceito de geração independente na ponta; Objetivos; Justificativa e Metodologia.

A Seção 2 contém a Revisão da Literatura, que aborda os estudos realizados por outros pesquisadores em áreas correlatas, situando o leitor com o que há de mais atual relativo ao tema.

A Seção 3 explica sucintamente o que é um veículo elétrico e seu funcionamento, abordando com maiores detalhes as diferentes tecnologias e arquiteturas existentes, suas principais vantagens e desvantagens e explicando porque e quais modelos podem ser efetivamente considerados para utilização no sistema de compensação de energia elétrica.

A seguir de uma explicação do componente mais importante para funcionamento deste sistema, a bateria. Aqui também se esclarece as principais tecnologias disponíveis no mercado, bem como quais delas têm as características ideais para serem usadas tanto em veículos com propulsão elétrica quanto para serem descarregadas na rede, gerando renda. Aborda-se os métodos matemáticos para determinar qual a potência que determinada bateria/veículo têm disponível para uso.

A Seção 4 é composta pelo estudo de caso, no qual será trabalhado os diferentes dados apresentados, como: tecnologia de bateria, arquitetura do veículo elétrico e perfil de condução a fim de definir para quais tipos de condutores esse sistema será viável financeiramente, bem como os cálculos quantitativos da economia do sistema e o prazo de *payback* do investimento.

Ainda no estudo de caso explica-se os sistemas tarifários português e brasileiro.

A Seção 5 consiste nos resultados e nas análises dos resultados obtidos.

A Seção 6 é composta pela conclusão e sugestão para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA – O ESTADO DA ARTE

Muitos países estão buscando alternativas a fim de se tornarem independentes energeticamente, fugindo da dependência da importação do petróleo, devido ao seu alto preço e demanda do mercado mundial. Dentre as opções, a substituição dos convencionais motores movidos à combustível fóssil pela eletrificação da frota de veículos é uma alternativa, além de que o crescimento econômico demanda necessidade de transporte da população, tanto para fins econômicos quanto para o lazer (BARAN, 2012).

Baran (2012) afirma que um dos principais entraves para a disseminação do Veículo Elétrico no Brasil é seu alto custo, uma vez que o equivalente elétrico à um veículo tradicional tem um custo cerca de 20% maior. Seus estudos simulam, no setor de transportes, a utilização da energia elétrica ao invés de combustíveis fósseis nos carros.

No longo prazo a adoção de veículos elétricos, deve causar uma redução de 9,2% do consumo energético provindos de origem fóssil. Mas em contrapartida, haveria o impacto no consumo de energia elétrica. A demanda extra de energia chegaria a 144TWh.

Isso mostra que os VE têm potencial para influenciar consideravelmente a matriz energética do país ao longo prazo, e sua utilização também contribuiria para um melhor gerenciamento da oferta e demanda da rede (BARAN, 2012).

Em Portugal também, a integração dos VE pode trazer impactos na rede, o que torna necessário que seus sistemas de energia estejam preparados para receber esse aumento de carga.

Gonçalves (2012) estudou o impacto que essa integração pode causar nos diagramas de carga portugueses, no qual ele simula cenários de carregamento das baterias dos VE. Um deles se inicia às 20h e representa os usuários pouco cuidadosos com as consequências dessa recarga para o sistema elétrico, que impactaria diretamente no horário de ponta. Em outro cenário o usuário carregaria as baterias a partir das 00h, simulando a aplicação de uma tarifa diferenciada para os condutores de VE.

Suas conclusões confirmam que o segundo cenário, com o carregamento durante a madrugada, obteve os melhores resultados com menos impacto à rede, já que o carregamento se dá durante os horários de vazio.

Fernandes (2013) explica que a utilização de veículos elétricos comparados aos convencionais possui vantagens como a emissão zero de poluentes e ausência de ruído, além de um rendimento do motor na casa dos 90%, contra 50% dos veículos que utilizam combustíveis fósseis. Porém existem certas barreiras que impedem a utilização dessa

tecnologia frente aos veículos tradicionais, como a autonomia da bateria e o impacto do carregamento de milhares de veículos às redes de distribuição.

Seu trabalho aponta que a integração de veículos elétricos está intimamente ligada ao conceito das redes inteligentes, que permitem um acompanhamento real e preciso de questões relacionadas às tarifas e também da demanda, sendo possível coordenar a ligação dos veículos de forma que causem o menor impacto possível aos sistemas.

Com tarifas variáveis durante a hora do dia, os veículos elétricos podem vir a ser fonte de renda aos seus usuários e também servirem para desafogar a rede nos horários de maior demanda. Estudos provam essa utilidade dos veículos, uma vez que o horário em que são carregados, entre 0h e 7h, são de baixa demanda (FERNANDES, 2013).

Briones et. al (2012) apresenta as diferentes motivações e vantagens de se utilizar os veículos elétricos como fonte de energia, em um conceito conhecido como Vehicle-to-grid, ou V2G, que consiste em um sistema de fluxo bidirecional de energia elétrica na qual o veículo elétrico está apto tanto a receber energia da rede, como uma carga, quanto fornecer, atuando como um gerador.

Analisando do lado dos sistemas de energia, o fato dos veículos elétricos estarem plugados faz com que eles ajam como uma fonte de armazenamento de energia móvel, capazes de, por exemplo, compensar a natureza instável de fontes de energia renováveis, nomeadamente a solar e eólica. Uma vez que não se pode prever precisamente quando ocorrerão eventos de fortes ventos ou insolação, é possível que haja energia disponível em momentos que a demanda é baixa e vice-versa, ocasionando um desperdício de recursos e dinheiro.

Os VE também podem atuar como reguladores de rede, fornecendo potência nos horários de pico, uma vez que são majoritariamente carregados em horários de baixa demanda, acarretando uma curva de carga mais homogênea durante o dia.

Uma terceira vantagem dos VE à rede está no fato deles poderem funcionar também como fonte de reserva de energia, para casos de falha de geradores e equipamentos, na qual se precisa de uma rápida resposta por um curto período de tempo para manter o sistema ativo e operando sem causar estragos no restante da rede.

Para o usuário, o VE serve também de nobreak, sendo um backup de emergência em caso de falha do sistema elétrico ou algum equipamento da residência. De acordo com as preferências do consumidor, o sistema pode ser utilizado para se alimentar a residência no horário de ponta, compensando a energia comprada da rede e gerando uma

economia na fatura de energia elétrica e renda ao condutor ao final do mês (BRIONES et al., 2012).

3 VEÍCULOS ELÉTRICOS

São denominados veículos elétricos todos aqueles veículos que, para seu funcionamento, levam pelo menos um motor que converte a energia elétrica armazenada em baterias em energia mecânica (GONÇALVES, 2012).

Embora todos os VE possuam a mesma base tecnológica, há diferentes estruturas que permitem classificá-los de acordo com sua tecnologia.

3.1 VEÍCULO PURAMENTE ELÉTRICO – BEV

Também conhecidos por BEV (Veículo a Bateria Elétrica, do Inglês *Battery Electric Vehicles*), esse tipo de veículo depende única e exclusivamente da energia armazenada em suas baterias para sua locomoção. Nesse caso, o veículo é ligado diretamente à rede elétrica para o carregamento das baterias (GONÇALVES, 2012).

3.2 VEÍCULOS À CÉLULA DE COMBUSTÍVEL

Nesta classe de veículos, ao invés de um MCI (Motor à Combustão Interna), é utilizado uma célula de combustível que através de uma reação química envolvendo hidrogênio e oxigênio produz energia elétrica. Por não haver combustão no processo, essa é considerada uma tecnologia totalmente não poluente.

“Apesar de ser estruturalmente semelhante a uma bateria, uma CC [célula de combustível] pode fornecer energia enquanto for fornecido o combustível, não estando por isso dependente de um processo de carga e descarga.” (GOMES, 2009, p.2)

Portanto, conclui-se que nesse caso não tem-se a desvantagem da baixa autonomia, característica dos veículos elétricos. Porém, a dificuldade existe no fato de se armazenar e transportar o hidrogênio, devido à sua natureza potencialmente explosiva.

3.3 VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS – HEV

De acordo com Gonçalves (2012) os HEV (Veículos Elétricos Híbridos, do Inglês *Hybrid Electric Vehicles*) buscam compensar as desvantagens existentes não só na tecnologia de veículos 100% elétricos, mas também dos tradicionais veículos com motor à combustão interna (MCI).

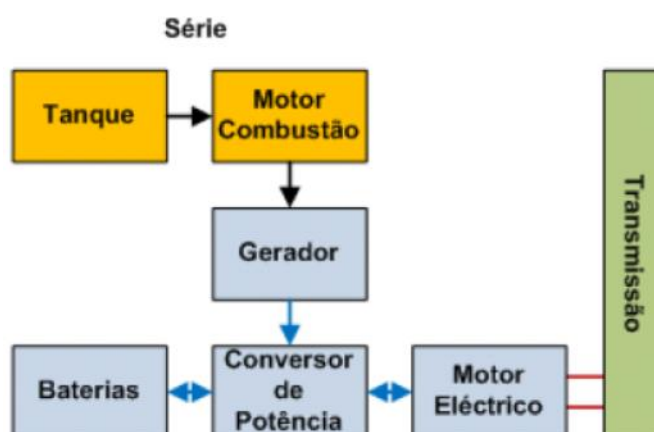
A associação de um motor elétrico à um MCI, nos veículos híbridos, tem a função de otimizar o motor à combustão. De acordo com Borba (2012) essa estrutura faz com que o MCI trabalhe na zona de maior eficiência energética, sobretudo nas baixas rotações onde tem baixo rendimento.

Os HEV apresentam três arquiteturas:

3.3.1 Veículo Elétrico Híbrido Série

Os HEV Série têm um sistema no qual o veículo é movimentado única e exclusivamente pelo motor elétrico. Nesta estrutura a função do motor à combustão é de alimentar diretamente, através de um gerador, o motor elétrico e/ou alimentar o conjunto de baterias (Diagrama 1).

Diagrama 1 – Veículo Híbrido Série



Fonte: Gomes, 2009, p.45

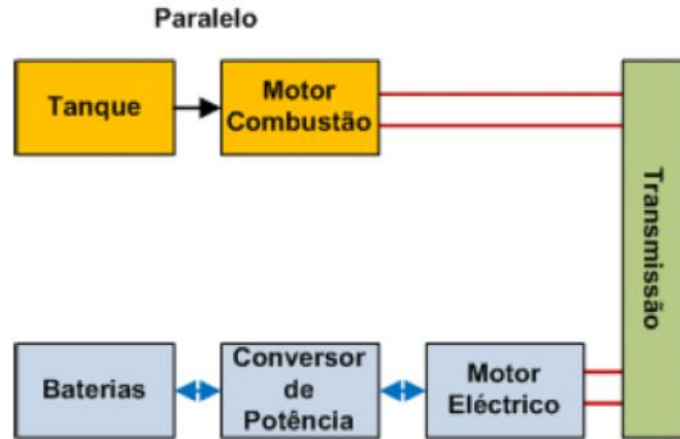
Conforme Borba (2012), por ser necessário três tipos de equipamentos de propulsão: MCI, gerador e motor elétrico, esse sistema tem uma eficiência mais baixa quando comparada aos outros, e baixo rendimento em altas rotações, sendo indicadas para veículos de grande porte, como os ônibus.

3.3.2 Veículo Elétrico Híbrido Paralelo

Os HEV Paralelo (Diagrama 2), são caracterizados pelo fato de que os dois motores, tanto o de combustão quanto o elétrico, podem acionar o veículo em conjunto ou de forma independente, de acordo com as condições de direção. Neste modo, o motor principal é o MCI, enquanto o motor elétrico é usado principalmente para auxiliar em subidas e/ou

acelerações. Este tipo de arquitetura é mais comum em veículos de pequeno porte (BORBA, 2012).

Diagrama 2 – Veículo Elétrico Híbrido Paralelo

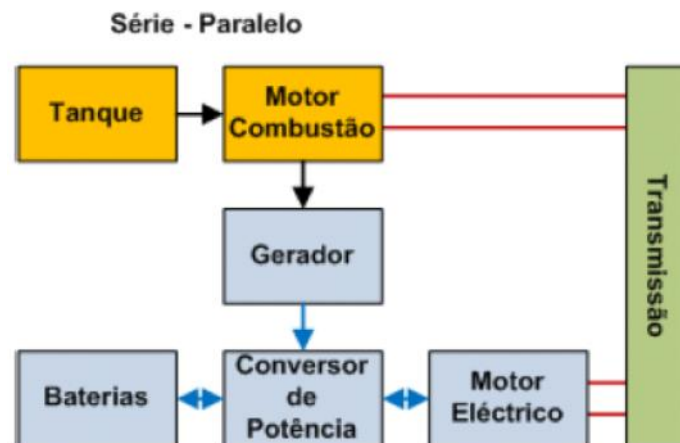


Fonte: Gomes, 2009, p.45

3.3.3 Veículos Elétricos Híbridos Mistos

O HEV Misto (Diagrama 3) mescla as duas configurações supracitadas, maximizando os benefícios de ambos os casos. Pode-se usar, a qualquer momento, qualquer um dos dois motores para acionar tanto o eixo do veículo quanto para carregar as baterias, individual ou simultaneamente de acordo com as condições de carga e percurso.

Diagrama 3 – Veículo Elétrico Híbrido Misto



Fonte: Gomes, 2009, p.45

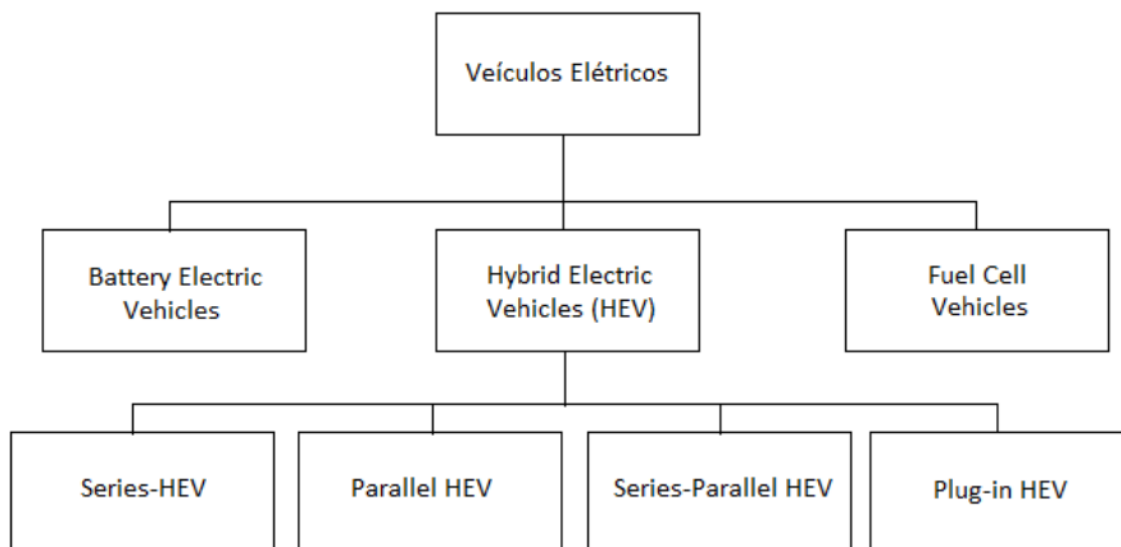
3.4 VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS PLUG-IN – VHEP

Veículos Elétricos Híbridos Plug-in, ou somente VHEP, são os veículos híbridos que independentemente de sua arquitetura física, série, paralela ou mista, têm a

singularidade de poderem carregar seu conjunto de baterias diretamente da rede elétrica ao invés de serem carregadas somente pelo motor à combustão interna.

O Diagrama 4 resume a classificação dos Veículos Elétricos apresentada.

Diagrama 4 – Classificação dos Veículos Elétricos



Fonte: Gonçalves, 2012, p.28

3.5 BATERIAS PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS

As baterias, principal fonte de energia de um veículo elétrico, são dispositivos que armazenam energia química e são capazes de liberá-la na forma de energia elétrica.

Porém um dos principais desafios para a disseminação do VE está relacionado com a baixa autonomia das baterias, uma vez que conforme Gonçalves (2012), ainda não é possível fornecer a esses veículos energia suficiente para percorrerem grandes distâncias, sem uma recarga durante a viagem.

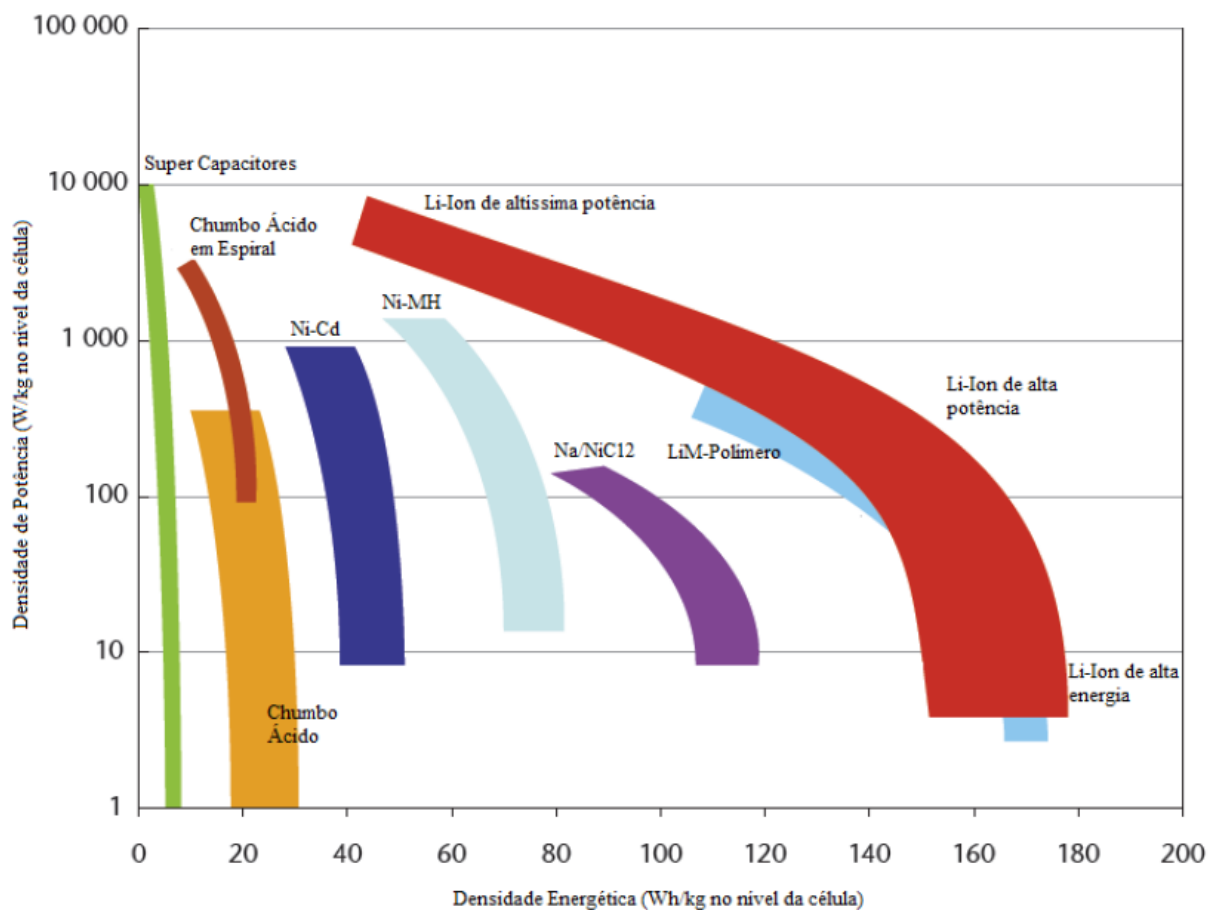
Quando é feita a comparação de diferentes tipos de baterias, no geral duas informações são levadas em conta (Baran 2012):

- a) Densidade de potência é a potência que a bateria é capaz de produzir num curto espaço de tempo em função do peso da bateria (W/kg);
- b) Densidade energética é a capacidade da bateria gerar/armazenar energia em função de seu peso (Wh/kg), que traduz a autonomia da mesma.

Nota-se pela análise do **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, que as duas unidades referidas são inversamente proporcionais e Baran (2012) destaca a clara

vantagem da tecnologia de Íon-Lítio (Li-Ion) frente às demais, devido aos altos valores de energia e potência.

Gráfico 1 – Densidade de Potência x Densidade Energética de Diferentes Tipos de Bateria



Fonte: Baran, 2012, p.30

As tecnologias diferem no tipo de utilização e composição, por exemplo, para veículos convencionais com MCI é comumente utilizado as baterias de chumbo-ácido, as quais são responsáveis por fornecer energia aos sistemas elétricos e eletrônicos, sendo carregadas através do alternador.

Especificamente para os Veículos Elétricos em geral, segundo Baran (2012) há duas tecnologias que são predominantes, a de Níquel-Hidreto Metálico (NiHM) e a de Li-Ion. Quando comparadas às de NiMH, as baterias de Li-Ion possuem as seguintes vantagens (BARAN *apud* Deutsche Bank, 2008):

- | | |
|------------------|--|
| a) Alta potência | de 1,4 a 1,7 vezes mais densidade energética; |
| b) Eficiência | maior eficiência para carga e descarga, o que aumenta sua vida útil e segurança; |

- c) Custo do material o custo do metal/kWh produzido é menor, embora o restante dos componentes possa ser mais caro;

Já as principais desvantagens do Li-Ion em relação à NiMH são as seguintes:

- a) Segurança se utilizada fora de suas especificações e/ou em condições extremas (sobrecarga, curto-circuito, carga em dias extremamente frios), a bateria pode ser destruída ou até incendiada;
- b) Performance em situações extremas (temperaturas muito altas ou baixas, por exemplo) as baterias não têm um funcionamento adequado;
- c) Custo total o custo total do kWh continua maior quando comparado à bateria de NiMH;

Além da Densidade e Potência Específicas, há outras características que deve-se conhecer a respeito das baterias para dimensioná-las e entender seu funcionamento, sendo elas:

- a) Capacidade É a quantidade de corrente por hora que a bateria, ou célula de bateria, é capaz de fornecer, sua unidade é o Ah (ROSOLEM, 2012);
- b) Taxa C A corrente de carga e descarga de uma bateria é medida em Ampères. A Taxa C está diretamente relacionada à descarga da bateria, ou à capacidade da bateria fornecer uma quantidade de corrente igual à sua capacidade declarada. Ou seja, para uma taxa de descarga 1C, uma bateria de 20Ah deve fornecer 20A durante 1 hora (CHAGAS, 2007). A maioria dos modelos são taxados em 1C, com exceção das de Chumbo-Ácido que estão em 0,05C. (STA, 2014)
- c) Estado de Carga (SoC) É a porcentagem dada pela relação entre a tensão máxima que é esperada nos terminais da bateria pela tensão atual (MAGALHÃES, 2012). Traduz,

basicamente, a quantidade de carga que ainda resta na bateria.

d) PdD

Profundidade de Descarga (PdD), do inglês *Depth of Discharge* (DoD). Esse parâmetro mensura quanto da capacidade total da bateria será utilizado na descarga. Ela é dada pela relação da Capacidade Utilizada da bateria pela Capacidade da bateria. Por exemplo, uma bateria com capacidade de 20Ah sendo descarregada com 14Ah, está operando com 70% de DoD. No geral, 80% é a porcentagem adotada pela maioria dos fabricantes, e é utilizada quando estes especificam o número de ciclos que a bateria terá durante sua vida útil (STA, 2014).

e) Autodescarga

É o valor de capacidade que uma bateria perde com o passar do tempo sem realizar qualquer trabalho, com seus terminais em aberto. Depende fortemente de fatores como tipo de bateria, temperatura e SoC (CHAGAS, 2007). Quando comparado às outras tecnologias, às de Li-Ion possuem baixa taxa de autodescarga mensal.

O Quadro 1 resume as principais diferenças de utilização de baterias nas diferentes tecnologias de veículos elétricos.

Quadro 1 – Resumo da Utilização das Baterias nos Veículos Elétricos

	VHE	VHEP	VE
Utilização do Motor Elétrico	Motor elétrico em baixa velocidade + motor a combustão em velocidade de cruzeiro	Motor elétrico nos primeiros 20 km a 30 km + motor a combustão	Motor elétrico
Carregamento da bateria	Pelo motor a combustão e frenagem regenerativa	Na rede elétrica, por frenagem regenerativa e pelo motor a combustão	Na rede elétrica, frenagem regenerativa ou substituída por outra carregada
Redução de consumo de combustível	25% a 40%	40% a 65%	100%

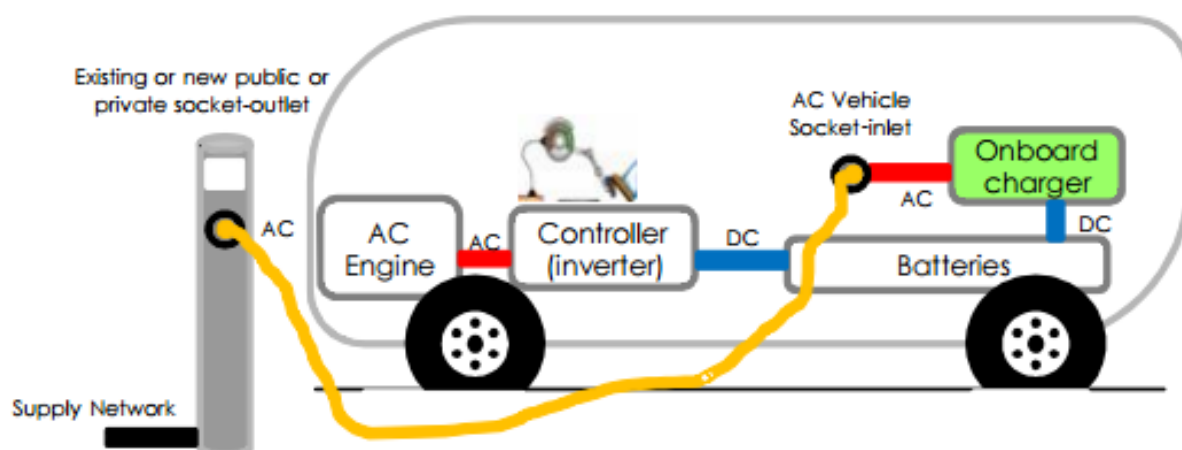
Fonte: Rosolem, 2010, p.32

3.6 SISTEMA DE LIGAÇÃO DO VEÍCULO À REDE

Para a utilização do veículo elétrico é recomendável que o condutor possua em sua casa um carregador específico para tal, uma vez que não é possível nem aconselhado, que sua ligação seja feita diretamente em tomadas convencionais. Para tal, em Portugal existe a Portaria n.º 252/2011 que regulamenta os requisitos técnicos da instalação e manutenção dos pontos de carregamento (SGORME, 2015).

Embarcado no veículo há um sistema chamado de *Battery Management System*, BMS, o qual é responsável por fazer o controle do conjunto de baterias. Ele identifica, por exemplo, seu estado de carga e solicita ao carregador a corrente necessária para o carregamento (BRIONES, 2012). O Diagrama 5 ilustra a interface de carregamento do veículo com a rede.

Diagrama 5 – Esquema De Ligação Do Veículo À Rede



Fonte: Eurelectric, 2011, p.8

Internamente ao veículo está o conjunto de baterias, o carregador que faz a conversão da corrente alternada para corrente contínua e a entrada para o conector de carregamento.

Externamente, há o equipamento responsável por fazer o controle de energia requerida da rede, esse também é o dispositivo que possibilitará o fluxo duplo de potência, da rede para o veículo e do veículo para a rede.

Comercialmente, a maioria dos equipamentos de carregamento são de fluxo único de potência, permitindo apenas o carregamento do veículo e não sua descarga na rede.

3.7 O MERCADO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

No Brasil, o desenvolvimento para a indústria de veículos elétricos vem andando a passos lentos, desmotivando as grandes montadoras de que os veículos leves elétricos se apresentem no mercado nacional por falta de incentivos governamentais.

Para que haja uma pulverização em larga escala no Brasil, Wittmann, Bermann e Wittmann (2013) fazem uma análise crítica em diversas frentes de pesquisa, entre elas os aspectos referentes à recarga, autonomia, investimento aquisitivo, custo operacional, impactos no sistema elétrico brasileiro, na cadeia do etanol e da gasolina, reflexos na matriz energética do país e outros fatores relacionados.

O principal determinante do crescimento será representado por políticas públicas que venham a ser adotadas futuramente, porém o governo tem se mantido afastado, mantendo barreira à integração, priorizando incentivos no etanol e nos motores bicompostíveis. Na conjuntura atual, a integração no mercado brasileiro se dará lentamente, não impactando no Sistema Interligado Nacional no longo prazo (WITTMANN; BERMANN e WITTMANN, 2013).

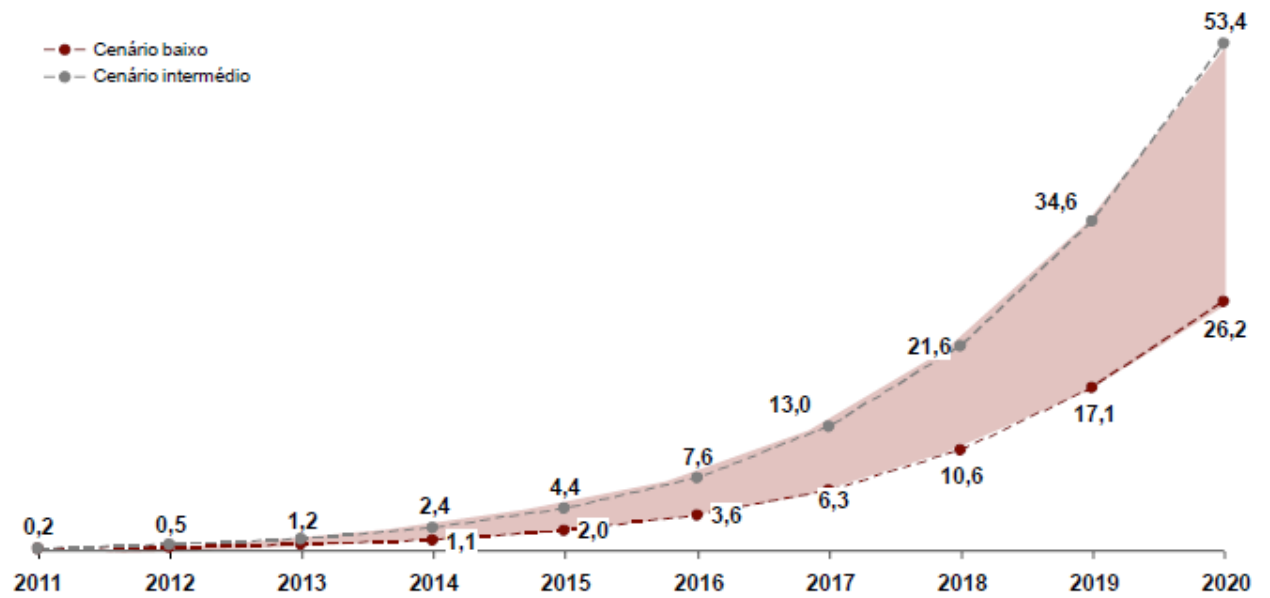
Acredita-se que a penetração dos veículos elétricos no Brasil começará a acontecer em cerca de cinco a dez anos, conforme há o avanço da tecnologia que torna seu preço mais competitivo com os veículos à combustão e o desenvolvimento de toda a infraestrutura necessária para sua recarga e utilização (ROCHA, 2013).

Já em Portugal, há o programa Mobi.E que consiste na instalação de uma rede-piloto com mais de 1300 postos de carregamento a fim de incentivar a utilização dos veículos elétricos. Porém, a nova posição do governo português devido ao rigor econômico imposto pela crise no país, foi o de cortar incentivos à essa categoria, que significavam uma ajuda de custo de 5.000€ na compra das primeiras cinco mil unidades (ATKEARNEY, 2012).

Em 2014, a fim de evitar o envelhecimento de seu parque automotor e incentivar a utilização de veículos considerados verdes, que têm menor índice de emissão de poluentes, o governo português reintroduz um incentivo ao condutor, no qual a entrega de um veículo em fim de vida que preencha certos pré-requisitos, como ter mais que dez anos de uso, lhe gera um bônus de até 4.500€ na aquisição do novo automóvel (MOUTINHO, 2014).

O Gráfico 2 mostra dois cenários diferentes de penetração do veículo elétrico nos próximos 5 anos, em Portugal, um de baixa adesão e um intermediário, em milhares de unidades.

Gráfico 2 – Penetração Esperado do Veículo Elétrico até 2020



Fonte: ATKearney, 2012, p.12

4 ESTUDO DE CASO

Para o estudo de caso foi analisada a viabilidade econômica de se armazenar na bateria do veículo elétrico a energia provinda da rede durante o horário de vazio e descarregá-la em uma residência, durante o horário de ponta, na cidade do Porto.

Para tal, primeiramente foi estudado o funcionamento das baterias de Lítio-Íon, que é a tecnologia mais utilizada nesse tipo de veículos, independentes de serem híbridos ou 100% elétricos.

De acordo com a arquitetura do veículo, calcula-se a energia máxima que determinado veículo poderá fornecer à residência, de acordo com dados pré-definidos pelo usuário do sistema.

Dados esses que influenciarão outros fatores importante para se determinar a viabilidade do sistema:

- a) Potência da bateria;
- b) Energia armazenada disponível no momento da utilização da bateria;
- c) Distância dirigida diariamente, e distância mínima de reserva que o usuário necessita para utilização do carro em uma emergência;
- d) Preço da energia tanto na hora da compra quanto na hora que o sistema será utilizado;

Mesmo sem uma análise profunda, pode-se notar que o sistema trará alguma economia na fatura elétrica ao final do mês ao usuário, uma vez que a energia será comprada durante os horários de vazio e descarregada em horários de ponta, evitando o preço mais alto deste último período.

Foi analisado diferentes padrões de direção e utilização em diferentes períodos do dia, para que com isso seja possível definir se há, e caso haja, para quais os perfis de direção e consumidores o sistema de compensação poderá ser aplicado para maximizar tornar essa operação rentável.

Nas simulações foi adotado para E_a (Energia armazenada na bateria) o valor de potência nominal da bateria, obtido através do produto de sua Tensão Nominal e sua Capacidade (C).

- a) Ponta são as horas em que o consumo de energia elétrica é mais caro;
- b) Cheia compreende o período do dia em que o custo de energia elétrica é intermediário, em relação à ponta e ao horário de vazio;
- c) Vazio conjunto de horas em que o consumo de eletricidade será mais barato. No geral, são as horas noturnas e fim de semana;

Assim como o Brasil, Portugal possui diferentes modalidades tarifárias, também de acordo com o tipo de conexão do usuário com a rede. Há as tarifas Média Tensão (MT) para a indústria ou grandes hotelarias, por exemplo, Baixa Tensão Especial (BTE) para pequenos comércios, como panificadoras, restaurantes e a Baixa Tensão Normal (BTN) que é utilizada pela maioria dos clientes residenciais.

Dentro da tarifa BTN, existe também a divisão do ano entre horário de inverno e horário de verão. No horário de inverno, o horário de ponta noturno tem duração de 2h30 (18h00 às 20h30) e no horário de verão, 1h30.

Tem-se ainda a divisão dos meses em ciclos diários ou ciclos semanais. Um ciclo semanal possui 76 horas de vazio por semana, sendo 7h durante os dias úteis, 17h aos sábados e 24h no domingo.

Já o ciclo diário tem ao todo 70h de vazio, sendo 10h por dia, independentemente de ser um dia útil, feriado ou final de semana. Este ciclo visa beneficiar as pessoas que têm um consumo de energia mais constante durante a semana.

Considerou-se a utilização do ciclo diário neste trabalho, uma vez que haverá mais dias com horas de ponta o que justifica a utilização do sistema de compensação. Levou-se em consideração também que a maior diferença do valor da tarifa se dá quando comparamos o preço de energia nas horas de vazio e nas horas de ponta.

O Gráfico 3 exemplifica visualmente a divisão horária de um dia de acordo com o respectivo posto tarifário.

Gráfico 3 – Divisão Diária Por Posto Tarifário



Fonte: EDP (2014, p.1)

Para o estudo de caso adotou-se a tarifação de acordo com o horário de inverno, pois isso traduz-se em maior intervalo de tempo para descarregar a bateria na rede durante a ponta.

4.2.1 Compensação de Energia Elétrica

Para o sistema de compensação de energia ter a maior rentabilidade possível, considerar-se-á o carregamento do veículo elétrico durante a madrugada, ou horários de vazio, e a descarga no horário de ponta.

O cálculo da economia se dará a partir da diferença entre as tarifas de compra de energia nos dois postos tarifários, uma vez que se deixará de comprar a energia na ponta, utilizando aquela que foi armazenada durante o vazio.

Não será considerado impostos nem outros valores que por ventura compõe a tarifa, já que os mesmos não variam ao longo do dia e portanto incidirão igualmente na carga e na descarga. A Equação 1 traduz a composição da tarifa de compensação.

$$Tarifa_{compensação} = Tarifa_{ponta} - Tarifa_{vazio} \quad (1)$$

Na tarifa tri-horária o preço cobrado pelo KVA em 2015 é de 0,2144€ na ponta, enquanto no vazio sai por 0,0986€. Logo a tarifa de compensação considerada neste trabalho foi de 0,1158€/KVA (EDP, 2015).

4.3 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA DISPONÍVEL NA BATERIA

A potência disponível para uso nas baterias pode ser determinada conforme as seguinte Equação 2 (KEMPTOM *et al.*, 2001):

$$P_d = \frac{[E_a - (DD + Res) \times Eff_{ve}] \times Eff_{inv}}{t_{desc}} \quad (2)$$

Onde:	P_d	Potência disponível [kW]
	E_a	Energia armazenada na bateria [kWh]
	DD	Distância dirigida desde que a bateria foi 100% carregada [km]
	Res	Distância reserva na bateria, definida pelo condutor [km]
	Eff_{ve}	Eficiência do veículo elétrico em kWh/km
	Eff_{inv}	Eficiência do inversor utilizado [adimensional]
	t_{desc}	Tempo de descarga desejado [h]

Para os veículos 100% elétricos, deve-se levar em conta a profundidade de descarga máxima permitida pela bateria, uma vez que se, ultrapassados esses valores, conforme Magalhães (2012) abaixa-se drasticamente a vida útil das mesmas.

Multiplicando então, a energia armazenada na bateria E_a pela profundidade de descarga DoD , obtém-se a Equação 3, utilizada para determinação da potência disponível em veículos elétricos:

$$P_d = \frac{[E_a * DoD - (DD + Res) \times Eff_{ve}] \times Eff_{inv}}{t_{desc}} \quad (3)$$

Para as baterias de Li-Íon considerou-se uma DoD de 80% (BORBA, 2012).

Para os veículos híbridos que funcionam na arquitetura paralela ou mista, não é preciso levar em conta a reserva na bateria para eventuais necessidades, uma vez que o MCI é ligado diretamente ao eixo do motor e pode acionar o veículo a qualquer instante. A seguir têm-se a Equação 4, traduzindo a potência disponível para esses veículos:

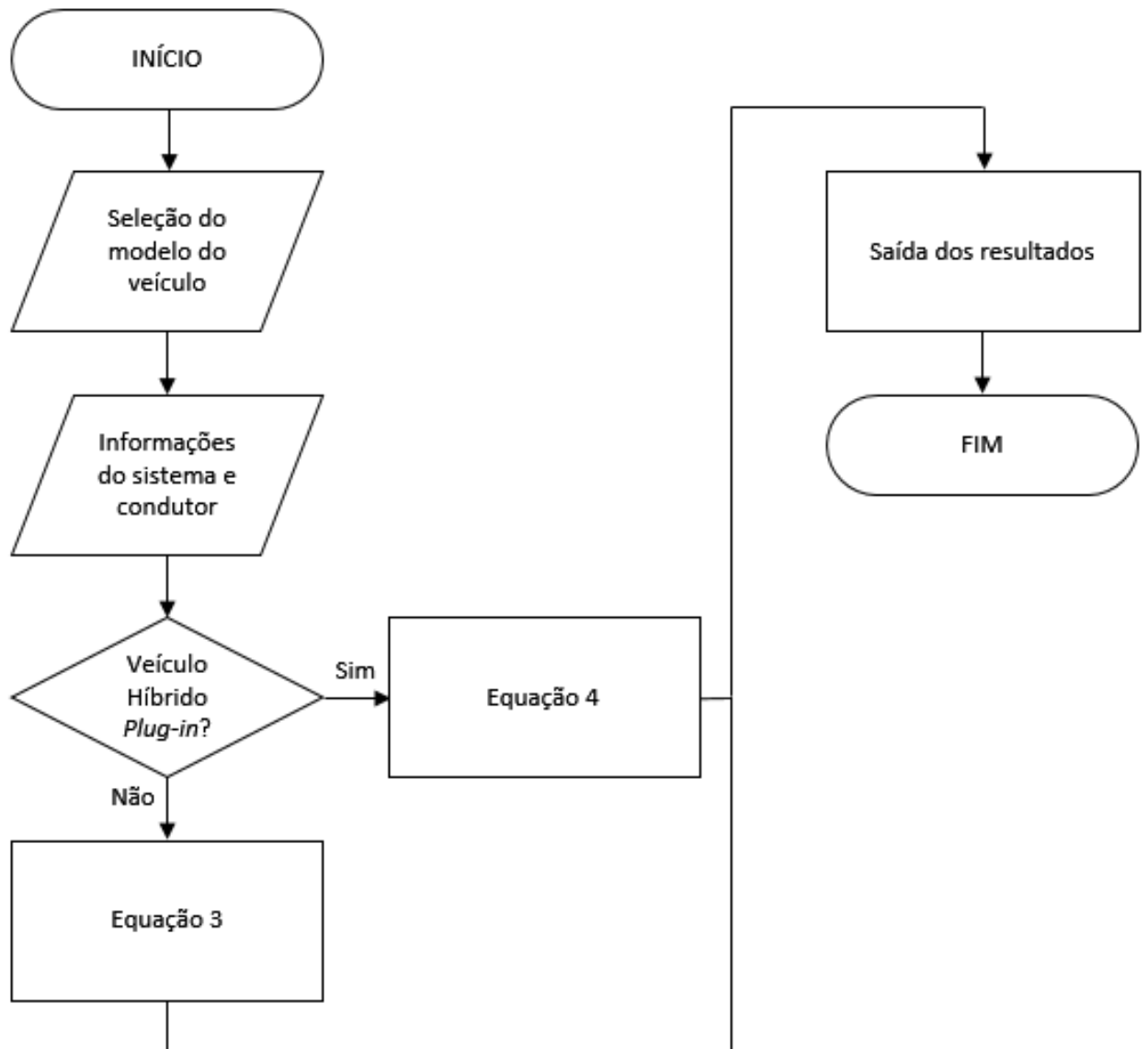
$$P_d = \frac{[E_a * DoD - (DD) \times Eff_{ve}] \times Eff_{inv}}{t_{desc}} \quad (4)$$

4.4 FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO DE COMPENSAÇÃO ENERGÉTICA

Para realizar o estudo de caso, construiu-se uma ferramenta de simulação capaz de receber como entrada todos os dados relevantes ao cálculo da utilização do veículo elétrico como uma fonte de compensação de energia. A saída informará a economia e tempo de *payback* do sistema para cada veículo. Para tal, a plataforma escolhida foi o software *Excel*.

O Fluxograma 1 representa o funcionamento da planilha.

Fluxograma 1 – Funcionamento do Simulador



Fonte: Do autor

4.4.1 Entrada de dados

No simulador, a primeira tela *Entradas* recebe as informações relativas aos hábitos de condução diários do condutor. Para as características do veículo elétrico e as especificações técnicas de sua bateria, o usuário conta com um menu suspenso no campo **Modelo**, o qual possui alguns veículos pré-cadastrados, não sendo necessário inserir seus dados manualmente.

4.4.1.1 Entrada de Dados da Bateria

Caso necessário, pode-se inserir manualmente as informações de cada item. No caso da bateria, é imprescindível informar suas especificações técnicas, que podem ser identificadas através do manual do usuário ou pelo próprio site do fabricante (Tela 1):

- Tensão, em [V];
- Capacidade nominal, em [Ah], que permitirá determinar a Energia Total da bateria, em [kWh], quando com 100% de carga;
- Vida útil da bateria, em ciclos;
- Profundidade de descarga

Tela 1 – Dados das baterias

DADOS DA BATERIA		
Tensão		V
Capacidade Nominal		Ah
Energia Total		kWh
Profundidade de descarga		
Vida útil da bateria		ciclos

Fonte: Do autor

A partir do produto entre Tensão e Capacidade Nominal da bateria, podemos chegar à sua Energia Total, conforme Equação 5.

$$E_{TOTAL} = \text{Tensão} \times \text{Capacidade} \quad (5)$$

4.4.1.2 Entrada de Dados do Veículo

Entra-se agora com os dados do veículo (Tela 2). Primeiramente informa-se qual a tecnologia de construção do veículo, se totalmente elétrico ou veículo híbrido, pois a metodologia de cálculo da Potência Total Disponível para Residência será influenciada de acordo com sua arquitetura de construção.

Em seguida é inserido sua autonomia, declarada de fábrica, dada em kWh/100km, pois a partir desse dado será calculado a eficiência de conversão de energia elétrica em mecânica do veículo, conforme equação 6. Nota-se a importância de se multiplicar a Energia Total do veículo pela sua profundidade de descarga, de modo a se utilizar a bateria de forma que não a sobrecarregue.

$$Eff_{VE} = E_{TOTAL} \times \text{DoD} \times \frac{100}{\text{Autonomia}} \quad (6)$$

O último dado será o valor da eficiência do inversor da instalação, que será responsável por conectar o veículo à residência.

Tela 2 – Entrada de dados do veículo

DADOS DO VEÍCULO		
Modelo		
Tipo de Veículo		
Autonomia		km
Eficiência do veículo		kWh/100km
Eficiência do inversor		
Fator de Potência do carregador		

Fonte: Do autor

4.4.1.3 Entrada de Dados do Condutor/Utilização do Veículo

Para utilização da ferramenta, o condutor deve estar ciente de seus hábitos de consumo e suas reais necessidades de utilização do veículo elétrico, para então descobrir se para seu perfil a utilização desse sistema de compensação será vantajosa e, em quanto tempo se dará o *Payback*. Essas informações podem ser inseridas ainda na aba *Entradas* (Tela 3).

O mais importante nesse ponto é que o usuário informe qual será a distância dirigida diariamente e, no caso de veículos 100% elétricos, defina uma distância de reserva. A distância de reserva pode ser traduzida numa potência que estará sempre disponível na bateria, para um uso emergencial do veículo, por exemplo.

É necessário conhecer também qual o custo de instalação do sistema, levando em consideração não somente a aquisição dos equipamentos eletroeletrônicos que serão necessários, mas também os eventuais custos decorrentes da instalação, como mão de obra de instalação e eventual parte civil.

A principal vantagem econômica do sistema está no remanejamento de cargas, que consiste no fato de se comprar energia mais barata no horário de vazio e utilizá-la, em alternativa à rede, no horário de ponta. Portanto o tempo de descarga da bateria será limitado em função da duração do próprio horário de ponta, com no máximo 2,5h, variando no intervalo de $0 < t_{descarga} \leq 2,5h$.

Diariamente se fará uso de um ciclo completo de carga e descarga da bateria, uma vez que ela será completamente descarregada na rede, dentro dos seus limites.

Tela 3 – Dados do condutor e utilização do veículo

DADOS DE CONDUÇÃO		
Distância dirigida diariamente		km
Reserva		km

DADOS DE UTILIZAÇÃO DO SISTEMA		
Tempo de descarga da bateria		h
Preço do sistema		EUR
Fatura de energia elétrica média mensal (EUR)		EUR

Fonte: Do autor

4.4.2 Saída de dados

Na aba *Saída* estarão os resultados finais, levando em conta todos os dados informados até aqui. De acordo com o tempo pré-definido de descarga é possível visualizar a quantidade de energia que a bateria está fornecendo em cada hora.

A seguir estão as informações da energia disponível na bateria para uso na residência (Tela 4). Esses dados são informativos, sendo relevantes apenas para o cálculo, a seguir, da quantidade de energia utilizada diariamente.

Tela 4 – Dados de descarga da bateria

Informações de Descarga da Bateria		
Tempo de descarga		h
Energia inicial para o veículo		Wh
Energia disponível para residência		Wh
Energia remanescente na bateria após 1h		Wh
Energia remanescente na bateria após 2h		Wh
Energia remanescente na bateria após 2,5h		Wh

Fonte: Do autor

A Energia Disponível para o Veículo é obtida através do produto entre a Energia Total da bateria e a profundidade de descarga, conforme Equação 7, de modo que novamente, a bateria seja utilizada dentro de seus limites de operação sem prejudicar sua vida útil.

$$E_{veículo} = E_{TOTAL} \times DoD \quad (7)$$

Já a Energia Disponível para a Residência é obtida através da Equação 8.

$$E_{res} = [E_a - (DD + Res) \times Eff_{ve}] \times Eff_{inv} \quad (8)$$

As equações 9, 10 e 11 mostram como é feito o cálculo da energia remanescente na bateria, em Wh.

$$E_{após\ 1h} = Pd \times 1000 - \frac{Pd \times 1000}{t_{desc}} \quad (9)$$

$$E_{após\ 2h} = E_{após\ 1h} - \frac{Pd \times 1000}{t_{desc}} \quad (10)$$

Para a equação 11, divide-se a Potência Disponível por 2 pelo fato de estarmos subtraindo a energia utilizada em 0,5h, e não 1h como nos outros casos.

$$E_{após\ 2,5h} = E_{após\ 2h} - \frac{Pd \times 1000}{t_{desc}} \times \frac{1}{2} \quad (11)$$

Nos próximos campos,

Tela 5, localiza-se as saídas referentes aos cálculos da vida útil da bateria. A Energia utilizada diariamente é obtida através da Equação 12.

$$E_{utilizada\ diariamente} = E_{veículo} - E_{após\ 2,5h} \quad (12)$$

É aqui que será determinado também qual o intervalo de tempo máximo para que o usuário tenha que recarregar o veículo novamente. Para a compensação energética, a bateria deverá ser recarregada diariamente, uma vez que será descarregada por completa na rede, através da Equação 13.

$$Recarga.bateria_{dias} = \frac{E_{veículo} \times 1000}{E_{utilizada\ diariamente}} \quad (13)$$

Com o intervalo de dias em que se deve realizar a troca de bateria, calcula-se em quanto tempo, anos e/ou meses que deve realizar a troca de todo o conjunto de baterias. Equação 14.

$$Troca.bateria_{mês} = \frac{n^{\circ}ciclos \times Recarga.bateria_{dias}}{\frac{365}{12}} \quad (14)$$

Tela 5 – Dados da Vida Útil da Bateria

Dados de Vida Útil da Bateria		
Energia utilizada diariamente		Wh
Dias para próxima recarga		Dias
Data para troca de bateria		meses
Data para troca de bateria		Ano

Fonte: Do autor

Os campos seguintes retornam os resultados econômicos do sistema, Tela 6 e

Tela 7. Visualiza-se o valor da fatura média de energia elétrica informado pelo cliente, a título de comparação, e em seguida o montante da economia gerada pela utilização do sistema de compensação da bateria na residência do usuário, tanto em Euros quanto em kWh.

Em *Custos Gerais* está uma mostra das informações econômicas mais relevantes ao usuário:

- Valor da fatura de energia elétrica anual, informado pelo usuário, sem utilização de compensação;
- Economia de energia gerada pelo uso do sistema de compensação de energia elétrica, levando-se em consideração a diferença de tarifas de vazio e de ponta e um fator de potência do carregador de 100%. Equações 15 e 16;

$$\bullet \quad Econ_{energia} = \frac{E_{res}}{1000} \times 30 \times fat.pot_{carregador} \quad (15)$$

$$\bullet \quad Econ_{fatura} = Econ_{energia} \times Tarifa_{compensação} \quad (16)$$

- Custo do sistema: custo total do sistema, que abrange o valor dos equipamentos, instalação do sistema e eventuais custos que possam surgir.

Tela 6 – Dados Econômicos

Dados da Fatura		
Fatura de energia elétrica média mensal (EUR)		EUR
Economia na fatura		EUR
Economia de Energia		kWh

Fonte: Do autor

Tela 7 – Custos Gerais

Custos Gerais		
Fatura anual de energia sem utilização do sistema		EUR
Economia anual de energia gerada pelo uso do sistema		EUR
Custo sistema		EUR

Fonte: Do autor

A Economia anual de energia gerada pelo uso do sistema é obtida através do produto entre a Economia de Energia por 12, ou seja, ao longo do ano.

Por último, através do quociente entre o Custo do Sistema e a Economia anual de energia obtém-se o tempo de *payback* de utilização do sistema, em anos.

$$\bullet \quad \text{Payback} = \frac{\text{Custo sistema}}{\text{Economia}_{\text{anual}}} \quad (16)$$

4.5 SIMULAÇÃO DE DADOS

Para a simulação da viabilidade econômica, escolheu-se trabalhar com 3 veículos reais e disponíveis no mercado. O **Outlander PHEV**, um híbrido plug-in da Mitsubishi, e os veículos 100% elétricos, o **Leaf** da Nissan e o **i3** da BMW.

O motivo da escolha de tais veículos é devido ao fato de que esses foram os modelos mais vendidos em suas categorias em Portugal, no ano de 2014. Foram 32, 60 e 59 unidades vendidas, respectivamente (MOTA, 2015).

Optou-se por trabalhar com apenas um modelo de veículo híbrido pois a capacidade de suas baterias são, no geral, menores que as dos veículos 100% elétricos. O que significa que esses modelos têm menor energia para compensar a residência.

O Quadro 2 contém um sumário das principais características elétricas dos modelos escolhidos para se efetuar a simulação.

Quadro 2 – Principais Características dos Veículos Híbridos e Elétricos

Geral	Montadora	Mitsubishi	Nissan	BMW
	Veículo	Outlander PHEV	Leaf	i3
	Tecnologia	PHEV	100% EV	100% EV
Bateria	Tecnologia da Bateria	Íons de Lítio	Íons de Lítio	Íons de Lítio
	Tensão (V)	300	360	355,2
	Capacidade (Ah)	40	66,67	60,81
	Energia (kWh)	12	24	21,6
Veículo	Autonomia EV (km)	52	199	160
	Eficiência (kWh/100km)	18,46	9,65	10,8

Fonte: Do autor

4.5.1 Custos do Sistema

Conforme o *Connected Car Industry Report 2014* da Telefonica (2014), o brasileiro troca de carro a cada 1,7 anos. No Reino Unido o condutor fica com o mesmo veículo por um período médio de 3,5 anos, e na Alemanha esse ciclo dura 2,8 anos enquanto o espanhol comprará um novo carro a cada 2,5 anos.

Com base nos valores citadas e da proximidade territorial desses países com Portugal, é presumível que a média portuguesa esteja perto desses valores, assumiu-se, portanto, para os portugueses um valor médio de 3 anos.

Já as baterias que equipam os veículos elétricos têm uma vida útil que atinge a ordem de 2000 a 3000 ciclos, garantindo pelo menos 90% de sua capacidade original. Ou seja, no pior dos casos, uma bateria que dure 2000 ciclos e realiza um ciclo de recarga diário terá uma vida útil de, no mínimo, 5 anos ($2000 \div 365 = 5,47$ anos) (WITTMANN, BERMANN E WITTMANN, 2013).

Inclusive, algumas montadoras já dão garantia estendida em suas baterias para os primeiros 100.000km, como é o exemplo da BMW e da Nissan, a Volkswagen por sua vez garante que suas baterias podem ser carregadas milhares e milhares de vezes durante a utilização do carro. (BMW, 2015; Nissan, 2015 e Volkswagen, 2015).

Portanto, nos campos relativos aos *Dados de Utilização do Sistema*, os custos da depreciação da bateria ao longo do tempo será desprezados, uma vez que o período de troca de um veículo usado por um novo é menor do que o prazo para que a bateria acabe com sua vida útil.

Será desprezado também o preço do veículo elétrico, assumindo-se que o condutor já possua o veículo em sua residência, e não que o compre única e exclusivamente para compensação.

Devido à dificuldade de se achar modelos de carregadores para veículos elétricos bidirecionais, o custo do equipamento foi estimado com base nos carregadores unidirecionais disponíveis no mercado, e acrescidos em 30%, arbitrariamente.

Um carregador convencional é vendido a uma média de US\$750,00. Convertendo esse valor para euros e acrescentando 30%, temos um carregador com um preço 871€. Sua eficiência é de 92% e possui um fator de potência acima dos 99%, conforme valores obtidos por Izumi et al. (2014). Mais uma vez considerou-se apenas como custo do sistema os 30% referentes ao diferencial de preço do carregador unidirecional para o bidirecional, uma vez que assumiu-se que o consumidor não está adquirindo o veículo elétrico para o fim de compensação, portanto ele teria o custo do carregador unidirecional de qualquer modo.

Para o contador bidirecional de energia o preço médio de mercado considerado foi de 225€.

Ao final, o custo do sistema é composto conforme Equação 17:

$$Custo_{SISTEMA} = Carregador_{uni} \times \Delta 30\% + Medidor_{bidirecional} \quad (7)$$

Substituindo-se os valores, o Custo do Sistema será de 426€.

4.5.2 Hábitos de Condução do Consumidor Médio Português

A primeira simulação será feita com base nos hábitos de condução de um proprietário médio português, sem analisar um perfil específico.

Referente aos seus hábitos de condução, utilizou-se os dados coletados pelas pesquisas do instituto Infas (2008) para o relatório de mobilidade alemã, na qual estudam os hábitos de condução de motoristas em diversos países europeus. O resultado foi de que o cidadão comum cobre, diariamente, uma distância média de 40 a 50km. Utilizou-se para a simulação 45km.

Para a distância de reserva que será mantida na bateria, utilizou-se um valor de 15% da autonomia total do veículo, valores comumente usados nos equipamentos que utilizam baterias, como celulares e notebooks.

O tempo de descarga da bateria para compensação de energia será fixado em 2,5h, para aproveitar o intervalo do horário de ponta na sua totalidade.

4.5.3 Diferentes Perfis de Condução

Agora para diferentes perfis de condução será analisado qual veículo elétrico, dentre os modelos de veículos pré-definidos, terá o menor tempo de *payback*, e consequentemente maiores lucros aos usuários.

Para tal, variou-se de 0 a 50km a distância dirigida diariamente, utilizando-se um passo de 10km. Para cada uma dessas distâncias variou-se também a distância de reserva de 0 a 30km, com o mesmo passo de 10km.

Será considerado rentável apenas aqueles casos em que o *payback* do sistema se dê em menos de 3 anos, ou seja, antes que o usuário troque de veículo.

4.5.4 Energia Mínima da Bateria para o Usuário

Será definido para cada diferente tipo de perfil, desde o cidadão médio português acima definido quanto para cada perfil criado na Seção 4.5.3 deste trabalho, qual a mínima capacidade que a bateria do veículo deve possuir para se ter um sistema de compensação de energia rentável.

Para tal considerou-se a distância de reserva para situações de emergência como 32km, distância mais do que suficientes para a maioria da população (PEARRE, 2010). A eficiência média do veículo 100% elétrico foi fixada em 10kWh/100km e de 18kWh/100km para os veículos híbridos, conforme modelos selecionados.

Será considerado rentável apenas aqueles casos em que o *payback* do sistema se dê em menos de 3 anos, ou seja, antes que o usuário troque de veículo.

5 RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Rodou-se o programa diversas vezes, variando ora o veículo e mantendo-se um perfil padrão, ora mantendo um veículo e variando-se o perfil de condução. Para cada um dos testes realizados obteve-se os resultados a seguir.

5.1.1 Resultados Para o Cidadão Médio Português

Para os hábitos de condução do cidadão médio português, obteve-se os resultados demonstrados no Quadro 3:

Quadro 3 – Tempo de *Payback* por Veículo

	Montadora	Mitsubishi	Nissan	BMW
Geral	Veículo	Outlander PHEV	Leaf	i3
	Tecnologia	PHEV	100% EV	100% EV
<i>Payback</i>	Tempo para <i>payback</i> (anos)	8,59	0,93	1,13

Fonte: Do autor

A partir dos resultados verificou-se que o sistema é economicamente viável para aqueles que possuem veículos 100% elétricos, cujo tempo de *payback* fica em torno de um ano, ou seja, a economia gerada pela compensação energética é suficiente para que o custo do sistema seja zerado. Após esse período o usuário começará a ter lucro efetivamente.

Para os veículos híbridos, o retorno financeiro desse sistema pode chegar a quase 9 anos, e isso ocorre devido ao fato de suas baterias serem de muito menor capacidade que a dos veículos elétricos. Uma vez que o cidadão médio português, conforme já mencionado, dirige diariamente 45 km e a autonomia elétrica do veículo é de 52km por recarga, fica evidente que a energia que serviria para uso na residência é ínfima, não justificando a utilização do sistema para o fim de compensação energética.

Nesse caso, a utilização do veículo híbrido seria vantajosa apenas para uso do veículo como um *nobreak*, no caso de uma falha elétrica da rede ou de algum equipamento interno à instalação do cliente.

5.1.2 Resultados Para Diferentes Perfis de Condução

Na definição do melhor perfil de condução para cada modelo de veículo, gerou-se uma tabela de cálculos. Para cada um dos veículos existe uma tabela igual, que podem ser verificadas nos Apêndices A e B deste trabalho.

A Tabela 1 é referente ao Nissan Leaf. Cada linha é equivalente a um perfil de condução, no qual as duas primeiras colunas têm as informações das distâncias dirigidas e de reserva. A terceira coluna mostra a energia da bateria que está disponível para utilização na residência, a quarta coluna informa de quanto será a economia bruta anual do usuário.

Por último e mais importante está o tempo de *payback* do sistema. Mais uma vez será considerado viável apenas aqueles casos em que esse valor seja menor de 3 anos.

Tabela 1 – Tempo de *Payback* Para Diferentes Perfis de Condução - Nissan Leaf

Perfil	Dist. Dirigida	Reserva	Energia para residência (kWh)	Economia bruta anual (EUR)	Payback
A	10	10	15,89	662,40	0,64
B	10	20	15,00	625,40	0,68
C	10	30	14,11	588,39	0,72
D	20	10	15,00	625,40	0,68
E	20	20	14,11	588,39	0,72
F	20	30	13,23	551,39	0,77
G	30	10	14,11	588,39	0,72
H	30	20	13,23	551,39	0,77
I	30	30	12,34	514,38	0,83
J	40	10	13,23	551,39	0,77
K	40	20	12,34	514,38	0,83
L	40	30	11,45	477,37	0,89
M	50	10	12,34	514,38	0,83
N	50	20	11,45	477,37	0,89
O	50	30	10,56	440,37	0,97

Fonte: Do autor

Para os veículos híbridos, é óbvio que a distância de reserva não afeta o tempo de *payback* do sistema, uma vez que pelo fato de possuir um motor a combustão, assume-se que nunca faltará gasolina em períodos de emergência, portanto não deve-se constituir reserva da bateria. Essa tecnologia pode ser utilizada para compensação de energia, desde que por condutores que não possuam grandes necessidades de deslocamentos diários. Os perfis vantajosos são aqueles que dirigem até 30km diários, ou seja, do **A** ao **I**.

Já para os veículos elétricos, a distância de reserva impacta diretamente no tempo em que haverá retorno financeiro para o usuário. Observa-se que quanto menor a soma das distâncias dirigida e reserva, menor o tempo necessário para *payback*.

Para ambos modelos, o Leaf e o i3, independente da distância dirigida e da distância de reserva os veículos são recomendáveis, tendo *payback* dentro dos limites estabelecidos neste trabalho.

O único perfil excluído será o **O** e somente para o BMW i3. Nesta combinação o cidadão conduz 50km diários com uma reserva de emergência de 30km. O *payback* será em 4,42 anos, pouco atrativo.

5.1.3 Definição Da Menor Energia da Bateria Para Cada Perfil

Para essa simulação variou-se a energia da bateria de forma a se obter um tempo de *payback* em 3 anos, assim obtém-se a capacidade mínima da bateria para cada tecnologia.

Os resultados foram compilados na Tabela 2. As quarta e quinta colunas indicam, respectivamente, qual a energia mínima necessária na bateria para cada tecnologia de veículo elétrico, de acordo com os perfis das três primeiras colunas.

Isso é útil principalmente para os veículos não mencionados neste trabalho e também os híbridos, uma vez que no geral têm capacidades de bateria menores. Dessa forma, o condutor sabe de acordo com seu perfil qual a menor bateria que o veículo deve possuir.

Tabela 2 – Capacidade Mínima de Bateria

Perfil	Dist. Dirigida	Reserva	Energia Mínima VE (kWh)	Energia Mínima Híbrido (kWh)
A	10	10	7,13	6,88
B	10	20	8,38	6,88
C	10	30	9,63	6,88
D	20	10	8,38	9,13
E	20	20	9,63	9,13
F	20	30	10,88	9,13
G	30	10	9,63	11,38
H	30	20	10,88	11,38
I	30	30	12,13	11,38
J	40	10	10,88	13,63
K	40	20	12,13	13,63
L	40	30	13,38	13,63
M	50	10	12,13	15,88
N	50	20	13,38	15,88
O	50	30	14,63	15,88
P	45	32	14,25	14,75

Fonte: Do autor

6 CONCLUSÃO

Para o proprietário do veículo elétrico, a vantagem de utilizar o sistema de compensação de energia elétrica no horário de ponta seria a de otimizar seu consumo de energia provinda da rede. A possibilidade é de se usar a bateria para armazenar energia nos períodos em que sua demanda e preço são menores, geralmente durante a madrugada, e descarregá-la na residência durante o horário de ponta, intervalo em que seu preço é mais alto. Ao final de cada mês, além da economia na fatura de energia elétrica, o condutor teria também uma fonte de renda adicional.

Neste trabalho provou-se que a utilização da bateria de veículos elétricos para alimentar uma residência durante o horário de ponta é economicamente vantajosa.

Para o cidadão médio português é obrigatória a utilização de veículos movidos 100% a energia elétrica para que se haja economia perceptível na fatura de energia. Caso se use um veículo híbrido, devido ao tamanho reduzido de suas baterias, a economia gerada pela compensação não se justifica economicamente.

Quando se testou outros perfis de condução, os veículos 100% elétricos continuaram a ser uma opção financeiramente viável. Para os veículos híbridos é importante que o condutor não possua grandes necessidades de deslocamento diário. Para tal, o limite de distância dirigida é de 30km para que a compensação tenha um *payback* em tempo razoável.

É importante ressaltar que os cálculos foram feitos sem levar em consideração o preço de aquisição do veículo, ou seja, para aqueles condutores que já o possuem ou pretendem adquiri-lo, mas não com a finalidade de compensar a energia elétrica provinda da rede.

Como sugestão para trabalhos futuros estão os seguintes estudos:

- Análise da viabilidade econômica de utilização do sistema apresentado para outros tipos de instalações, como comerciais e industriais;
- Utilização do sistema vista a partir da rede, estudando quais os benefícios da compensação para as empresas de distribuição e geração de energia;
- Melhoria do programa apresentado, levando em consideração os condutores que não possuem veículo elétrico e pretendem comprá-lo a título de compensação;
- Utilização dos veículos elétricos como fonte de armazenamento de energia distribuída, atuando como instrumentos regulador da rede;

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Resolução Normativa N° 479**: Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. [s. L.]: Aneel, 2012. 56 p. Disponível em: <www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012479.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2014.

ATKEARNEY. **Recomendações Para Uma Estratégia Sustentável De Eficiência Energética E Exploração De Energias Renováveis Para Portugal**. Porto: Atkearney, 2012. Disponível em: <http://www.inesctec.pt/SEE_JAN2012.pdf>. Acesso em: 23 set. 2014.

BARAN, Renato. **A Introdução De Veículos Elétricos No Brasil: Avaliação Do Impacto No Consumo De Gasolina E Eletricidade**. 2012. 139 f. Tese (Doutorado em Curso de Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/baran.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2014.

BMW. **BMW Série i**. 2015. Disponível em: <<http://www.bmw.pt/pt/newvehicles/i/i3/2013/showroom/drive.html>>. Acesso em: 26 jan. 2015.

BORBA, Bruno Soares Moreira Cesar. **Modelagem Integrada Da Introdução De Veículos Leves Conectáveis À Rede Elétrica No Sistema Energético Brasileiro**. 2012. 179 f. Tese (Doutorado em Curso de Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/bruno_borba.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2014.

BRIONES, Adrene et al. **Vehicle-to-Grid (V2G) Power Flow**. Idaho: Inl, 2012. 98 p. Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/avta/pdfs/evse/v2g_power_flow_rpt.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2015.

CHAGAS, Marcos Wilson Pereira. **Novas Tecnologias Para Avaliação De Baterias**. 2007. 97 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) - Iep/lactec, Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://sistemas.institutoslactec.org.br/mestrado/dissertacoes/arquivos/MarcosWilson.pdf>>. Acesso em: 5 out. 2014.

DIRECÇÃO GERAL DE GEOLOGIA E ENERGIA. **Eficiência Energética Em Equipamentos E Sistemas Elétricos No Sector Residencial**. Lisboa: DGGE / Ip-3e, 2004. 34 p. Disponível em: <http://www.energiasrenovaveis.com/images/upload/Brochura_Eficiencia.pdf>. Acesso em: 9 set. 2014.

EDP. **Horários Baixa Tensão Normal**. 2014. Disponível em: <<http://www.edpsu.pt/pt/particulares/tarifasehorarios/horarios/Pages/HorariosBTN.aspx>>. Acesso em: 22 dez. 2014.

_____. **Tarifas Baixa Tensão Normal até 20,7kVA.** 2015. Disponível em: <<http://www.edpsu.pt/pt/particulares/tarifasehorarios/BTN/Pages/TarifasBTNate20.7kVA.aspx>>. Acesso em: 01 mar. 2015.

ERSE. **Revisão do Regulamento Tarifário do Setor Elétrico – Documento Justificativo: Introdução de Tarifas Dinâmicas no Acesso às Redes.** Lisboa. 2014. 75 p. Disponível em: <http://www.erse.pt/pt/consultaspublicas/consultas/Documents/48_1/Anexo_Just_RT_SE_2014_TarifasDinamicas_EDPD.pdf>. Acesso em: 9 set. 2014.

EURELECTRIC. **European Electricity Industry Views On Charging Electric Vehicles.** 2011. Disponível em: <http://www.eurelectric.org/media/26100/2011-04-18_final_charging_statement-2011-030-0288-01-e.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2015.

FERNANDES, Caio Kaipper. **Avaliação Da Inserção De Carros Elétricos Na Operação De Uma Rede De Distribuição De Energia Elétrica.** 2013. 87 f. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/78510/000898543.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 3 abr. 2015.

GOMES, Nuno. **Células de Combustível.** Porto: ISEP, 2009. 36 slides, color. Materiais de aula – Veículos Elétricas.

_____. **Veículos Elétricos - Generalidades.** Porto: ISEP, 2009. 69 slides, color. Materiais de aula – Veículos Elétricas.

GONÇALVES, Ricardo Nuno Loureiro. **Estudo Do Impacto Da Introdução Dos Veículos Elétricos Nos Preços De Mercado E Nos Diagramas De Carga.** 2012. 181 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt/~ee07155/wp-content/uploads/2012/03/Estudo-do-impacto-da-introdução-dos-veículos-elétricos-nos-preços-de-mercado-e-nos-diagramas-de-carga1.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2014.

HERMSDORFF, W. e OLIVEIRA FILHO, D. Geração Independente Na Ponta.. Em: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. **Proceedings online...** Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000002200000200017&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 22 set. 2015.

INFAS. **Mobilität in Deutschland 2008: Ergebnisbericht Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends.** Berlin: Bundesministeriums Für Verkehr, Bau Und Stadtentwicklung, 2008. Disponível em: <http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008_Abschlussbericht_I.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2015.

IZUMI, Tatsuya et al. Bidirectional Charging Unit for Vehicle-to-X (V2X) Power Flow. **Sei Technical Review**, Osaka, v. 79, n. 1, p.39-42, out. 2014. Disponível em: <<http://global-sei.com/technology/tr/bn79/pdf/79-08.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2015.

KEMPTOM, Willett et al. **Vehicle-to-Grid Power: Battery, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles as Resources for Distributed Electric Power in California**. California: California Air Resources Board And The California Environmental Protection Agency, 2001. 78 p. Disponível em: <www.udel.edu/V2G/docs/V2G-Cal-2001.pdf>. Acesso em: 3 out. 2014.

KPMG. **Future State 2030: The Global Megatrends Shaping Governments**. 2014. Disponível em: <<http://www.kpmg.com/CN/en/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/Documents/Future-State-2030-O-201311.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2014.

MAGALHÃES, Daniel Filipe Pereira. **Projeto De Um Sistema De Gestão De Baterias (BMS) Aplicadas Na Alimentação De Veículos Elétricos (EVs)**. 2012. 41 f. Dissertação (Mestrado em Curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Automação) - Feup, Porto, 2012. Disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~ee05223/wp-content/uploads/2012/09/dissertação_1926_2012_provisória.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2014.

MOTA, Sara Piteira. Vendas De Carros Elétricos Em Máximos Puxados Pela BMW E Nissan. **Diário Económico**. Lisboa, p. 27-29. 4 fev. 2015. Disponível em: <http://www.acap.pt/site/uploads/noticias/documentos/44CD9639-79E80_1.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2015.

MOUTINHO, Paulo. **Abate De Veículos Rende Até 4.500 Euros Na Compra De Elétricos**. 2014. Disponível em: <http://www.jornaldenegocios.pt/economia/impostos/irs/reforma_do_irs/detalhe/abate_de_veiculos_rende_ate_4500_euros_na_compra_de_electricos.html>. Acesso em: 19 abr. 2015.

NISSAN. **Carregamento E Autonomia**. 2015. Disponível em: <<http://www.nissan.pt/PT/pt/vehicle/electric-vehicles/leaf/charging-and-battery/charging-nissan-leaf-and-battery.html>>. Acesso em: 26 jan. 2015.

PEARRE, Nathaniel et al. Electric Vehicles: How Much Range Is Required For A Day's Driving?. **Transportation Research: Part C**. [s. L.], p. 1171-1184. dez. 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X1100012X>>. Acesso em: 22 set. 2014.

PETROBRAS (Brasil). **Geração na Ponta**. 2014. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/portalbr/geracaonaponta/geracaoPonta.htm>>. Acesso em: 23 set. 2014.

ROCHA, Luiz Henrique. **Carro Elétrico – Desafios Para Sua Inserção No Mercado Brasileiro De Automóveis**. 2013. 76 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologias Ambientais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.abve.org.br/downloads/monoversãofinal11_06_2013.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2014.

ROSOLEM, Maria de Fátima N. C. et al. Bateria de Lítio-Íon: Conceitos Básicos e Suas Potencialidades. **Saber Eletrônica**, São Paulo, v. 48, n. 464, p.56-66, set. 2012. Disponível em: <http://www.sabereletronica.com.br/files/file/SE464_web.pdf>. Acesso em: 7 out. 2014.

_____; BECK, Raul F.. **Baterias Para VEs**. São Paulo: Cpqd, 2010. Color. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/seminario/Oficina_VeiculosEletricos_CPqD.pdf>. Acesso em: 3 out. 2014.

SANTOS, Aliandro Henrique Costa. **Uma Contribuição ao Estudo dos Freios de Atrito para Aplicação em Frenagem Regenerativa**. 2009. 191 f. Tese (Doutorado em Curso de Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?down=000773556>>. Acesso em: 22 set. 2014.

SGORME. **PERGUNTAS FREQUENTES: MOBI.e**. 2015. Disponível em: <<http://www.mobie.pt/faqs>>. Acesso em: 20 abr. 2015.

STA. **Manual das Baterias Recarregáveis, Pilhas e Carregadores**. Disponível em: <<http://www.sta-eletronica.com.br/resources/downloads/manual.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2014.

TELEFONICA. **Connected Car Industry Report 2014**. London, 2014. Disponível em: <http://blog.digital.telefonica.com/wp-content/uploads/2014/07/Telefonica-Connected_Car_Report_2014-Final-en.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2015.

VOLKSWAGEN. **Volkswagen e-mobilidade**. 2015. Disponível em: <<http://emobility.volkswagen.com/pt/pt/private/technology.html#>>. Acesso em: 26 jan. 2015.

WITTMANN, D; BERMAN, C; WITTMANN, T F. Análise Crítica da Integração em Larga Escala de Veículos Elétricos no Brasil. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 4., 2013, São Paulo. **Proceedings...** . São Paulo: International Workshop Advances In Cleaner Production, 2013. p. 1 - 10. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/downloads/Artigo - Análise Crítica da Integração em Larga Escala de Veículos Elétricos no Brasil.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2015.

APÊNDICE A

Tabela 3 – Tempo de *Payback* Para Diferentes Perfis de Condução - Outlander

Perfil	Dist. Dirigida	Reserva	Energia para residência (kWh)	Economia bruta anual (EUR)	Payback
A	10	10	7,13	297,38	1,43
B	10	20	7,13	297,38	1,43
C	10	30	7,13	297,38	1,43
D	20	10	5,44	226,58	1,88
E	20	20	5,44	226,58	1,88
F	20	30	5,44	226,58	1,88
G	30	10	3,74	155,77	2,73
H	30	20	3,74	155,77	2,73
I	30	30	3,74	155,77	2,73
J	40	10	2,04	84,97	5,01
K	40	20	2,04	84,97	5,01
L	40	30	2,04	84,97	5,01
M	50	10	0,34	14,16	30,08
N	50	20	0,34	14,16	30,08
O	50	30	0,34	14,16	30,08

Fonte: Do autor

APÊNDICE B

Tabela 4 – Tempo de *Payback* Para Diferentes Perfis de Condução - Nissan i3

Perfil	Dist. Dirigida	Reserva	Energia para residência (kWh)	Economia bruta anual (EUR)	Payback
A	10	10	13,91	579,89	0,73
B	10	20	12,92	538,47	0,79
C	10	30	11,92	497,05	0,86
D	20	10	12,92	538,47	0,79
E	20	20	11,92	497,05	0,86
F	20	30	10,93	455,63	0,93
G	30	10	11,92	497,05	0,86
H	30	20	10,93	455,63	0,93
I	30	30	9,94	414,21	1,03
J	40	10	10,93	455,63	0,93
K	40	20	9,94	414,21	1,03
L	40	30	8,94	372,79	1,14
M	50	10	9,94	414,21	1,03
N	50	20	8,94	372,79	1,14
O	50	30	7,95	331,37	1,29

Fonte: Do autor

APÊNDICE C

Sequência de cálculos para obter o tempo de payback do sistema.

Tela 8 – Dados das baterias

DADOS DA BATERIA		
Tensão		V
Capacidade Nominal		Ah
Energia Total		kWh
Profundidade de descarga		
Vida útil da bateria		ciclos

Fonte: Do autor

6.1.1.1 Entrada de Dados do Veículo

Entra-se agora com os dados do veículo (Tela 2). Primeiramente informa-se qual a tecnologia de construção do veículo, se totalmente elétrico ou veículo híbrido, pois a metodologia de cálculo da Potência Total Disponível para Residência será influenciada de acordo com sua arquitetura de construção.

Em seguida é inserido sua autonomia, declarada de fábrica, dada em kWh/100km, pois a partir desse dado será calculado a eficiência de conversão de energia elétrica em mecânica do veículo.

O último dado será o valor da eficiência do inversor da instalação, que será responsável por conectar o veículo à residência.

Tela 9 – Entrada de dados do veículo

DADOS DO VEÍCULO		
Modelo		
Tipo de Veículo		
Autonomia		km
Eficiência do veículo		kWh/100km
Eficiência do inversor		

Fonte: Do autor

6.1.1.2 Entrada de Dados do Condutor/Utilização do Veículo

Para utilização da ferramenta, o condutor deve estar ciente de seus hábitos de consumo e suas reais necessidades de utilização do veículo elétrico, para então descobrir se para seu perfil a utilização desse sistema de compensação será vantajosa e, em quanto tempo se dará o *Payback*. Essas informações podem ser inseridas ainda na aba *Entradas* (Tela 3).

O mais importante nesse ponto é que o usuário informe qual será a distância dirigida diariamente e, no caso de veículos 100% elétricos, defina uma distância de reserva. A distância de reserva pode ser traduzida numa potência que estará sempre disponível na bateria, para um uso emergencial do veículo, por exemplo.

É necessário conhecer também qual o custo de instalação do sistema, levando em consideração não somente a aquisição dos equipamentos eletroeletrônicos que serão necessários, mas também os eventuais custos decorrentes da instalação, como mão de obra de instalação e eventual parte civil.

A principal vantagem econômica do sistema está no remanejamento de cargas, que consiste no fato de se comprar energia mais barata no horário de vazio e utilizá-la, em alternativa à rede, no horário de ponta. Portanto o tempo de descarga da bateria será limitado em função da duração do próprio horário de ponta, com no máximo 2,5h, variando no intervalo de $0 < t_{descarga} \leq 2,5h$.

Diariamente se fará uso de um ciclo completo de carga e descarga da bateria, uma vez que ela será completamente descarregada na rede, dentro dos seus limites.

Tela 10 –Dados do condutor e utilização do veículo

DADOS DE CONDUÇÃO		
Distância dirigida diariamente		km
Reserva		km

DADOS DE UTILIZAÇÃO DO SISTEMA		
Tempo de descarga da bateria		h
Preço do sistema		EUR
Fatura de energia elétrica média mensal (EUR)		EUR