

VEÍCULOS ELÉTRICOS E A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA PARTIR DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CIEI&EXPO 2016

Jardel Eugenio da Silva¹, Fabianna Tonin², Jair Urbanetz Junior³

¹ PPGSE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, e-mail: jardel.eugenio@hotmail.com

² PPGSE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, e-mail: fstonin@gmail.com

³ PPGSE e PPGE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, e-mail: urbanetz@utfpr.edu.br

Resumo: O veículo elétrico é o futuro, e com ele surge à necessidade de suprir a demanda energética desta nova carga no sistema elétrico. Este artigo aborda as principais tecnologias empregadas nos veículos elétricos: puro, híbrido, híbrido *plug-in*, bem como as respectivas tabelas de consumo de energia kWh/100km, e também sua interação com um caso real de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica (SFVCR), no que concerne a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Curitiba, este possui um SFVCR de 2,1kWp, que está em operação desde dezembro de 2011. Esse sistema está instalado no Escritório Verde (EV) da UTFPR e utiliza um inversor monofásico em 220 V de 2 kW de potência nominal, e opera de forma ininterrupta, sendo que até setembro de 2016 gerou aproximadamente 11 MWh de energia elétrica. Os dados de geração de energia elétrica do SFVCR foram correlacionados com os valores necessários para suprir a demanda energética de um veículo elétrico. Por fim, a geração fotovoltaica do EV mostrou-se como uma sustentável e eficaz forma de geração distribuída de energia elétrica no ambiente urbano, sendo capaz de atender às necessidades de carregamento das baterias de um veículo elétrico.

Palavras chave: Veículo Elétrico, Energia Solar Fotovoltaica, Geração Distribuída.

1. INTRODUÇÃO

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCR) configuram-se 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 também 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 [1].

Em vista disso, o objetivo desse artigo é abordar as principais tecnologias empregadas nos veículos elétricos: puro, híbrido, híbrido *plug-in*, bem como as respectivas

tabelas de consumo de energia kWh/100 km, e também sua interação com um caso real de um SFVCR.

2. SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA (SFVCR)

Um SFVCR é constituído basicamente pelo painel fotovoltaico, 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 e, além de disponibilizá-la para a instalação, também injeta o excedente dessa energia na rede da concessionária e, pelo medidor bidirecional, o qual contabiliza a energia injetada na rede da concessionária elétrica [2] [3]. A Fig. 1 mostra esses componentes.



Fig. 1. Painel fotovoltaico, inversor e medidor bidirecional [4]

Em dezembro de 2011, o Escritório Verde (EV) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) foi inaugurado em Curitiba. Essa edificação de 150 m² é uma proposta única no que diz respeito à sustentabilidade, visto que adotou diversas estratégias visando à máxima eficiência energética [5]. A linha mestra para prover a energia consumida na edificação é um SFVCR. Quando há incidência solar sobre o painel fotovoltaico, há geração de energia elétrica, e esta é disponibilizada diretamente na rede elétrica do próprio consumidor onde está localizado o gerador fotovoltaico. No caso da energia fotogerada ser superior à consumida, a mesma é injetada na rede elétrica da concessionária. Nos momentos de baixa ou nenhuma incidência solar, a concessionária é quem supre o consumidor. A Fig. 2 ilustra a fachada do EV da UTFPR.

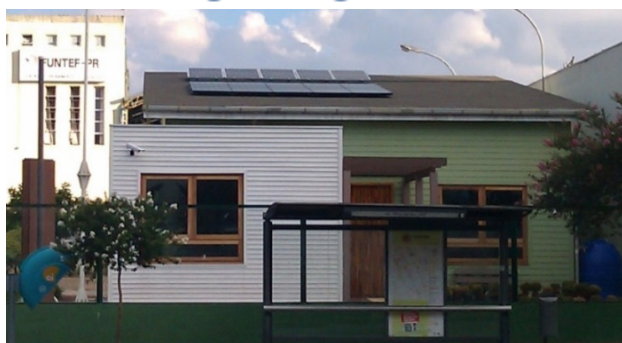


Fig. 2. Vista frontal do EV da UTFPR [5]

O SFVCR do EV da UTFPR tem uma potência instalada de 2,1 kWp (10 módulos KYOCERA de tecnologia de silício policristalino, modelo KD210GX-LP ligados em série) e um inversor monofásico em 220V de 2kW de

potência nominal (PVPOWERED modelo PVP2000), e entrou em operação em 14 de dezembro de 2011. A área ocupada na cobertura da edificação para esse painel é de apenas 15m².

2.1. Energia Gerada pelo SFVCR do EV da UTFPR

A análise do desempenho do SFVCR do EV da UTFPR é feita com base nos valores de energia gerada durante os quatro anos e nove meses de operação do sistema e nos valores de irradiação incidentes no painel fotovoltaico. Analisando-se o funcionamento do SFVCR do EV durante esse período, observou-se uma geração total de aproximadamente 11 MWh. A geração de energia elétrica é proporcional à irradiação incidente no painel fotovoltaico, onde nos meses de verão (maior incidência solar) há maior geração de energia elétrica e nos meses de inverno, (menor incidência solar) há menor geração. A Fig. 3 apresenta os valores de energia elétrica gerados em cada mês de operação do SFVCR do EV da UTFPR.

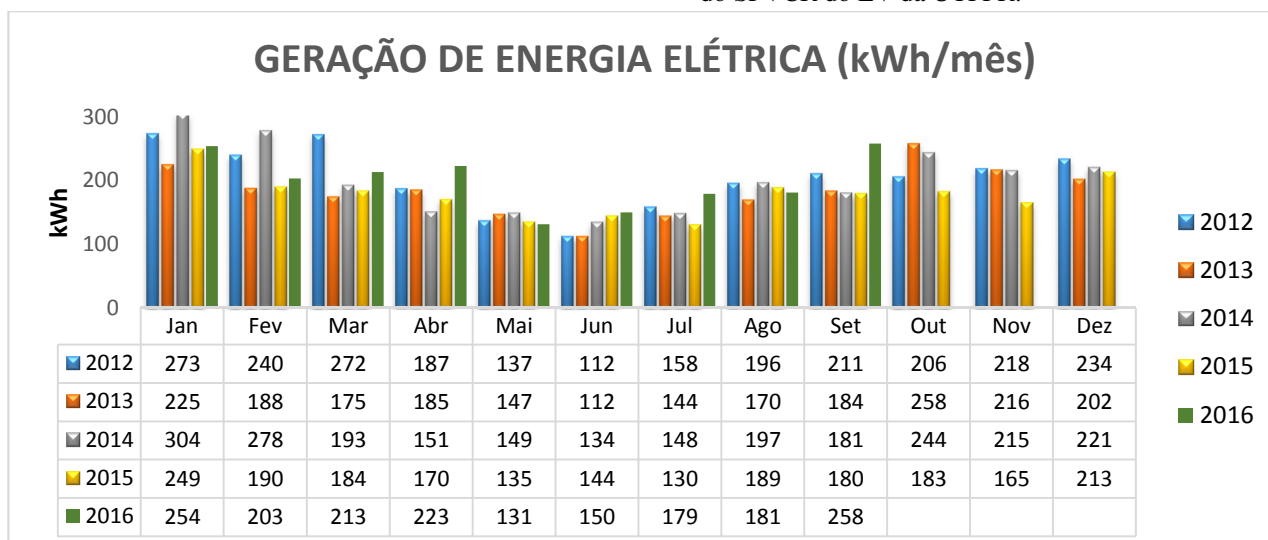


Fig. 3. Geração de Energia Elétrica (kWh/mês)

3. CONSUMO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

No fim dos anos 1990 e início dos anos 2000, tinham-se a impressão de que a revolução no mundo automobilístico aconteceria, com a substituição dos veículos à combustão, pelo veículo elétrico. Contudo, as limitações da tecnologia de bateria eram muitas e, em virtude disso, os veículos híbridos tornaram-se uma alternativa bastante popular. Desde então, a indústria automotiva vem trabalhando no desenvolvimento dos veículos elétricos, focada na melhora contínua das tecnologias empregadas nas baterias. É interessante ressaltar que especialistas afirmam que os avanços na tecnologia das baterias Li-ion resolverão muitos dos problemas da autonomia do veículo elétrico e, dessa forma, os consumidores verão os veículos elétricos sob uma nova perspectiva. O mercado automobilístico deixa claro que a tendência para os próximos anos são os veículos

elétricos, motivo pelo qual diversas montadoras já anunciaram a produção desse tipo de veículos, como por exemplo as construtoras japonesas. Atualmente, os modelos existentes têm autonomia de 60Km (Volteis X4) a 425 km (Tesla S). [6] [7].

3.1. Equivalência em litros por 100 km

A quantidade de energia elétrica consumida para percorrer uma determinada distância, expresso em kWh/100 km. Com a entrada dos carros elétricos no mercado, a Administração Nacional de Segurança do Transporte (NHTSA - National Highway Traffic Safety Administration) e a Agência Norte-Americana de Proteção Ambiental (EPA - Environmental Protection Agency) implementaram uma equivalência entre o consumo de veículos térmicos, com motor de combustão interna (MCI), e 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 90% quantidade de energia elétrica e a transforma em torque, ou seja, potência mecânica. Este princípio de conversão de energia em trabalho é o mesmo do motor térmico de um automóvel, chamado de motor de combustão interna (MCI), a diferença é que o MCI é alimentado por combustíveis queimáveis, nos quais utiliza-se 35% (para um litro de diesel) de sua energia para transformar em torque ou seja potência mecânica, e os outros 65% são perdidos devido à dissipação térmica, a

força para girar gerador, bombas, entre outros fatores. Ao se comparar os valores em L/100 Km, dos motores de combustão interna, os números aparecem relativamente baixos, isso acontece devido ao bom desempenho do motor elétrico.

3.2. Preço de "full" (cheio)

Para os cálculos, foi utilizado o preço praticado pela Copel (Companhia Paranaense de Energia), tarifa convencional subgrupo B1 consumo mensal superior a 220 kWh, custo em R\$/kWh conforme descrito na tabela 1.

Tabela 1. Tarifa Convencional - subgrupo B1

Convencional Tarifa em R\$/kWh B1-residencial	Resolução ANEEL nº 2.096 de 21 de junho de 2016	Com impostos ICMS e PIS/COFINS
Consumo mensal inferior ou igual a 30 kWh (isento de ICMS)	0,14400	0,15270
Consumo mensal entre 31 kWh e 100 kWh	0,24685	0,37803
Consumo mensal entre 101 kWh e 220 kWh	0,37028	0,56705
Consumo mensal superior a 220 kWh	0,41143	0,63006

Fonte: Adaptado de Copel [8]

3.3. Autonomia dos Veículos Elétricos

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. Nesse artigo foi utilizado o valor fornecido pelo fabricante, conforme tabela 2, a qual é calculado de acordo com a norma europeia. Segundo essa norma existe uma lacuna entre o consumo real do automóvel e o anunciado pelo fabricante, devido ao fato dos

fabricantes utilizarem um protocolo de medição padronizada que leva a resultados muito longe da realidade. ou seja, os valores de consumo publicados pelos fabricantes têm como objetivo constituir uma base de comparação, pois todos os modelos estão sujeitos a um método de cálculo padronizado. Na Europa, utiliza-se o ciclo NEDC (*New European Driving Cycle*), destinado a simular a condução em vários tipos de estrada [9].

Tabela 2. Consumo dos veículos elétricos

Modelo	Consumo de energia em 100 km	L/100Km equivalente	Autonomia	Potência da bateria	Preço total (R\$) subgrupo B1
Mia Electric	10,0 kWh	1,02	80 km	8,0 kWh	7,58
Lumeneo Neoma	10,1 kWh	1,03	140 km	14,2 kWh	7,68
Renault Zoé	10,5 kWh	1,07	210 km	22,0 kWh	7,96
Citroën C-Zéro	10,7 kWh	1,08	150 km	16,0 kWh	8,11
Renault Fluence Z.E	11,9 kWh	1,21	185 km	22,0 kWh	9,02
Bolloré Bluecar	12,0 kWh	1,22	250 km	30,0 kWh	9,09
Smart Fortwo E.D.	12,1 kWh	1,23	145 km	17,6 kWh	9,17
Renault Kangoo Z.E.	12,9 kWh	1,31	170 km	20,0 kWh	9,77
Nissan Leaf	13,7 kWh	1,39	175 km	24,0 kWh	10,38
Ford Focus EV	14,3 kWh	1,42	160 km	23,0 kWh	10,89
FAM F-City	14,4 kWh	1,46	100 km	14,4 kWh	10,91

Tesla Roadster	15,1 kWh	1,55	350 km	53,0 kWh	11,44
Tesla S	19,9 kWh	2,03	426 km	85,0 kWh	15,08
Renault Twizy 45	5,1 kWh	0,52	120 km	6,1 kWh	3,85
Mega City	9,0 kWh	0,91	100 km	9,0 kWh	6,82
Little 4	11,0 kWh	1,12	100 km	11,0 kWh	8,33
Volteis X4	19,1 kWh	1,94	60 km	14,5 kWh	14,47

Fonte: Adaptado de Par Nicolas Meunier [7]

3.4. Híbridos plug-in

O termo *plug-in* do veículo elétrico (PEV), inclui veículos concebidos para serem conectados na rede elétrica. Com o aparecimento dos primeiros PHEVs (carros híbridos recarregáveis), os quais podem ser abastecidos tanto com combustíveis térmicos, como energia elétrica, 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, ou mesmo completarem o ciclo, com a bateria carregada no modo elétrico. 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 elétrica, ou seja, quando utilizar no modo somente elétrico, não mostra o real consumo em pequenas distâncias.

Os números de consumo para os híbridos *plug-in* são apenas uma indicação vaga da realidade. Portanto, é impossível dar um único valor de consumo, se usar apenas como combustível a energia das baterias, serão consideradas nula. 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, deve-se multiplicar o consumo de calor pela proporção da jornada percorrida no modo de calor. Se a escala elétrica geralmente é anunciada pelo fabricante (é um argumento comercial inegável), não é o mesmo para a térmica de consumo real, necessariamente muito maior do que os dados "legais". 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 3 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.

Tabela 3. Consumo dos veículos híbridos *plug-in*

Modelo	Consumo de energia em 100 km	L/100Km equivalente	Autonomia	Potência da bateria	Preço total (R\$) subgrupo B1
Toyota Prius plug-in	12,32 kWh	1,25	25 km	4,44 kWh	7,76
Chevrolet Volt	14,00 kWh	1,42	80 km	16,00 kWh	8,82
Fisker Karma	21,40 kWh	2,17	80 km	21,10 kWh	13,48

Fonte: Adaptado de Par Nicolas Meunier [7]

4. GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PELO SFVCR PARA O VEÍCULO ELÉTRICO

De acordo com os dados de geração de energia elétrica do EV apresentados na Fig. 3, calcula-se que em média, o sistema produz 200 kWh/mês, o que corresponde a aproximadamente 6,6 kWh/dia. Em posse desse valor e das características de cada veículo elétrico, citado na tabela 2, determina-se a quantidade de quilômetros que cada veículo

poderia rodar mensalmente e diariamente para poder ser carregado exclusivamente pela energia elétrica proveniente do SFVCR instalado no EV da UTFPR.

Segundo dados informados pela fabricante Renault, o veículo elétrico Renault Fluence Z.E, percorre uma distância média de 60 km/dia e, o carregamento completo da bateria desse veículo leva em torno de 10 horas, em uma tomada do tipo E/F. A tabela 4 revela características desse veículo [7].

Tabela 4. Especificação do veículo

Modelo	Renault Fluence Z.E
Consumo de energia em 60 km (E)	7,14 kWh
L/100Km equivalente	1,21
Autonomia	185 km
Potência da bateria	22 kW

Fonte: Adaptado de Par Nicolas Meunier [7]

A tabela 5 mostra os valores de quilômetros diários e mensais que cada veículo elétrico poderia percorrer para ser carregado unicamente pela energia elétrica pelo SFVCR de 2,1kWp do EV da UTFPR.

Tabela 5. Cálculo da energia elétrica necessária para carregar os veículos elétricos

Modelo	Consumo de energia em 100 km	km diários	km Mensal
Mia Electric	10,0 kWh	66,00 km	2.000,00 km
Lumeneo Neoma	10,1 kWh	65,34 km	1.980,19 km
Renault Zoé	10,5 kWh	62,86 km	1.904,76 km
Citroën C-Zéro	10,7 kWh	61,69 km	1.869,16 km
Renault Fluence Z.E	11,9 kWh	55,47 km	1.680,67 km
Bolloré Bluecar	12,0 kWh	55,00 km	1.666,67 km
Smart Fortwo E.D.	12,1 kWh	54,55 km	1.652,90 km
Renault Kangoo Z.E.	12,9 kWh	51,16 km	1.550,39 km
Nissan Leaf	13,7 kWh	48,18 km	1.459,85 km
Ford Focus EV	14,3 kWh	46,15 km	1.398,60 km
FAM F-City	14,4 kWh	45,83 km	1.388, 89 km
Tesla Roadster	15,1 kWh	43,71 km	1.324,50 km
Tesla S	19,9 kWh	33,16 km	1.005,03 km
Renault Twizy 45	5,1 kWh	129,41 km	3.921,57 km
Mega City	9,0 kWh	73,30 km	2.222,22 km
Little 4	11,0 kWh	60,00 km	1.818,18 km
Volteis X4	19,1 kWh	34,55 km	1.047,12 km

Fonte: Dados do Autor

O veículo Renault Twizy, devido ao seu baixo consumo de energia em 100 km, permitiria com que o veículo percorresse 129,41 km por dia com a energia gerada pelo SFCVR de 2,1kWp do EV da UTFPR, porém, a autonomia desse veículo é de 120 km. O valor da autonomia refere-se à quantidade de quilômetros que o veículo pode percorrer sem a necessidade de recarga da bateria.

Já por sua vez, o veículo elétrico Volteis X4 permitiria que o condutor percorresse apenas 34,55 km diariamente com a energia produzida pelo mesmo SFVCR.

De modo geral, para percursos diários de 60 km, os veículos elétricos seriam carregados exclusivamente pela energia elétrica gerada pelo painel fotovoltaico instalado no telhado do EV.

Além disso, 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). Sendo assim, o SFCVR instalado no EV configura-se como uma forma sustentável e eficaz de

geração distribuída de energia elétrica no ambiente urbano, sendo capaz de atender às necessidades de carregamento das baterias dos diversos veículos elétricos disponíveis no mercado [12].

5. CONCLUSÕES

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.

Em vista disso, esse artigo correlacionou os dados de geração de energia elétrica de um SFVCR de 2,1kWp em operação ininterrupta desde 2012 instalado sobre a edificação do Escritório Verde, em Curitiba com os valores necessários para suprir a demanda energética diária, que é em média de 60 km/dia, de diversos modelos de veículos elétricos que estão disponíveis no mercado. Com o valor diário médio de geração de energia elétrica pelo SFVCR de 6,6 kWp, percebeu-se que é possível que a energia elétrica gerada a partir do painel fotovoltaico supra a demanda de

carregamento da bateria do veículo elétrico para percursos médios diários de 60 km. Além disso, é importante frisar que os painéis fotovoltaicos não ocupam nenhuma área extra à edificação, visto que eles estão instalados no telhado do prédio, ocupando uma área de 15 m² e dessa forma, configurando-se como uma forma promissora de geração de energia elétrica em centros urbanos.

Por fim, a geração fotovoltaica do EV da UTFPR mostrou-se como uma forma sustentável, limpa e eficaz de geração distribuída de energia elétrica no ambiente urbano, sendo capaz de atender às necessidades de carregamento das baterias dos veículos elétricos.

6. REFERÊNCIAS

- [1] S. Rebecchi. 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.
- [2] J. Urbanetz Junior. Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade. 2010. 189 p. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – UFSC, Florianópolis – SC, 2010.
- [3] Ministério de Minas e Energia. Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisas Energéticas, 2012.
- [4] Gerasol. Sistemas Conectados à rede. Disponível em: <http://www.gerasolbr.com.br/energia-solar.html>, 2016.
- [5] Escritório Verde. Disponível em: <http://www.escriptorioverdeonline.com.br>, 2016
- [6] J. Martins, F. Brito. Carros Elétricos. Portugal, Porto, 2011.
- [7] N. Meunier *La vérité sur la consommation des voitures électriques*. Disponível em: <http://automobile.challenges.fr/dossiers/20120807.LQA3178/la-verite-sur-la-consommation-des-voitures-electriques.html>, 2012.
- [8] Copel. Tarifa Convencional - subgrupo B1. Disponível em: <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2Ffc28b22b01ad9182403257488005939bb>, 2016.
- [9] R. Souza. Como aferir testes reais de condução. Disponível em: <http://fleetmagazine.pt/2015/12/16/como-aferir-testes-reais-de-conducao>, 2016.
- [10] P. Ridden. *Mia's plug-in electric delivery van puts driver front and center*. Disponível em: <http://www.gizmag.com/mia-electric-delivery-van/21577/>, 2012.
- [11] Totally Electric Cars. Renault Fluence Z.E. Disponível em: <http://www.totallyelectriccars.com/renault-fluence-ze/>, 2014.
- [12] 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