

A Mobilidade elétrica em Portugal – donde vem para onde vai

Neste artigo fique a conhecer, em detalhe, o mundo da mobilidade eléctrica. Saiba mais sobre o assunto no Dossier Electricidade e Electrónica desta edição, dedicado ao tema dos Veículos Eléctricos.

Texto_APVE e contributos de Paulo Pereirinha, Pedro Silva, João Peças Lopes e Teresa Ponce de Leão
Fotos_José Alex Gandum e Arquivo



1. Introdução

Após o 1º Encontro Luso Francês sobre Veículos Elétricos, em Lisboa, em Novembro de 1998, um conjunto de entidades interessadas na temática, fundaram em Lisboa, em Junho de 1999, a Associação Portuguesa do Veículo Elétrico, APVE [1]. Desde o início, esta tentou congregiar os esforços de instituições de ensino superior e de investigação, empresas das áreas da mobilidade, da energia, do fabrico de equipamentos eléctricos, de comercialização de energia eléctrica e de combustíveis, agências de energia, rede de carregamentos, fabricantes de automóveis e de outros meios de transporte, etc., ou seja toda a comunidade interessada na mobilidade eficiente e sustentável, incluindo associados individuais. Ao longo destas quase duas décadas, a APVE foi fazendo um trabalho de fundo, juntando à mesma mesa os diversos intervenientes, que muitas vezes são também concorrentes. São de realçar o projeto de divulgação dos mini autocarros eléctricos em 2003, cobrindo 8 cidades Portuguesas e levando à instalação de carreiras permanentes nalgumas cidades, a organização da grande conferência europeia Ele-Drive Transportation 2004 “Urban Sustainable Mobility is Possible – Now!”, incluindo test drives e desfile de veículos eléctricos, no Estoril, em Março de 2004, a responsabilidade pelas comissões técnicas (CT) de normalização na área da mobilidade eléctrica, a CT 146 – “Veículos Eléctricos Rodoviários” e a CTE 69 – “Sistemas Eléctricos para Veículos Eléctricos Rodoviários”, a organização de duas sessões especiais na conferência internacional VPPC 2014, IEEE Vehicle

Power and Propulsion Conference, em Coimbra, em Outubro de 2014, e mais recentemente a co-organização de conferências sobre mobilidade em Lisboa e Cascais, a participação na promoção da mobilidade sustentável através da ação junto da tutela (como, mais recentemente, na Reforma da Fiscalidade Verde, ou o programa de demonstração de mobilidade eléctrica no MAOTE – Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia em 2015), das câmaras municipais, etc. [1]

Um longo caminho tem sido assim trilhado, quer em Portugal, quer a nível internacional. A este nível, é de salientar que mais de 750 mil veículos eléctricos (VE) plug-in foram vendidos no mundo em 2016, dos quais cerca de 41% na China, 28% na Europa e 21% nos EUA. Impulsionados por níveis de poluição permanentes ou frequentes em muitas grandes cidades (como Nova Deli, Pequim, Paris e Londres), pelas alterações climáticas e pelas preocupações com a dependência e eficiência energética, a consciencialização dos cidadãos e dos governos para uma mobilidade mais sustentável tem aumentado continuamente. O Acordo de Paris na Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2015 (COP 21) em dezembro de 2015 e o crescente número de modelos de propulsão eléctrica que chegam ao mercado todos os meses ou anunciados por quase todos os fabricantes de veículos, com autonomias crescentes a preços mais acessíveis, são sinais claros nessa direção. Além disso, algumas cidades e países têm vindo a anunciar restrições à circulação ou aquisição de veículos com motor de combustão interna.



No entanto e apesar de termos já atingido um ponto de não retorno na mobilidade elétrica, e estando a haver uma evolução extraordinária no custo e tempo de vida das baterias, há ainda outros desafios que se apresentam para uma mobilidade mais sustentável, que se desenvolvem de seguida, de forma não exaustiva.

2. Forças de resistência ao movimento do veículo e eficiência energética

Para entender melhor os desafios que se colocam na deslocação de um veículo, é importante perceber o modelo global de um veículo, considerando as partes mecânicas (incluindo o chassis e as transmissões), e as características dinâmicas e aerodinâmicas do veículo. Assim, a força total de resistência ao movimento de um veículo, F_R , é dada por

$$F_R = F_{RR} + F_{DA} + F_I \quad (1)$$

em que F_{RR} representa a resistência ao rolamento, devida à fricção dos pneus no piso, F_{DA} é a força de resistência aerodinâmica causada pela atrito com o ar e F_I é força devida à inclinação da estrada (projeção do peso do veículo no plano da estrada). A baixas velocidades, a oposição ao movimento do veículo é principalmente devida à componente F_{RR} (força de resistência ao rolamento) sendo esta muito superior a F_{DA} . A velocidades mais elevadas, F_{DA} é a principal força resistente ao movimento. A força de resistência ao rolamento do pneu é dada por

$$F_{RR} = \mu_{RR} \cdot mg \quad (2)$$

dependendo do coeficiente de resistência ao rolamento, μ_{RR} , e do peso P do veículo, ou seja da massa m e da aceleração da gravidade g . Valores típicos para μ_{RR} variam entre 0,015, para pneus convencionais, e 0,005 para pneus desenvolvidos especialmente para VEs [2][3]. A força de resistência aerodinâmica é dada por

$$F_{DA} = \frac{1}{2} \rho \cdot C_D \cdot A_F \cdot V_V^2 \quad (3)$$

sendo proporcional à densidade do ar, ρ , ao coeficiente de resistência aerodinâmica (*Drag Coefficient*), C_D , à área frontal do veículo, A_F , e ao quadrado da velocidade do veículo (relativamente ao vento), V_V [3]. A densidade do ar é ainda função da pressão atmosférica e da temperatura do ar. Note-se que sendo a potência, P , necessária para deslocar um corpo com a força F à velocidade linear V , dada por

$$P = F \cdot V \quad (4)$$

a potência requerida pelo motor, necessária para superar a resistência aerodinâmica, aumenta com o cubo da velocidade. A força resultante da inclinação da estrada, F_I , é função do ângulo de inclinação θ , independente da velocidade e do tipo de piso, sendo dada por

$$F_I = mg \cdot \sin(\theta) \quad (3)$$

sendo negativa quando θ é positivo (subida) e positiva quando θ negativo (descida).

Calculadas as forças necessárias para deslocar o veículo, é necessário calcular a potência e o binário correspondentes, quer na roda quer no veio do motor.

Analisando as equações anteriores, torna-se evidente que, para diminuir a potência e a energia necessárias para a deslocação do veículo, é necessário diminuir um ou vários dos seguintes parâmetros:

- Coeficiente de resistência ao rolamento, μ_{RR}
- Massa do veículo, m
- Coeficiente de resistência aerodinâmica, C_D
- Área frontal do veículo, A_F
- Momentos de inércia, J
- Velocidade do veículo (relativamente ao vento), V_V
- Aceleração do veículo

Muito do desenvolvimento realizado pelos fabricantes, tem a ver com a diminuição destes parâmetros, em particular dos cinco primeiros indicados. Os últimos dois dependem do percurso e do condutor. Note-se que os fatores antes apresentados são válidos tanto para os veículos com propulsão elétrica, como híbrida ou com motor de combustão interna (MCI). A grande diferença reside em que a eficiência energética global de um veículo elétrico puro é superior à de um veículo com MCI e com muito menores emissões de gases poluentes, quer a nível local quer global [7][8].

Outras linhas de ação são o aumento da eficiência energética, a diminuição de peso e volume da cadeia de tração e do sistema de armazenamento de energia renovável.

3. Autonomia e necessidade de educação dos utilizadores e vendedores de veículos para a correta escolha e utilização dos VEs

Muitos utilizadores consideram que é necessário que um VE tenha uma autonomia semelhante a um veículo com MCI. Alguns fabricantes apresentaram já no mercado veículos muito mais acessíveis que os "tradicionais" Tesla S ou X, com mais de 400 km de autonomia segundo o novo ciclo de condução europeu, o NEDC, como o Renault Zoe (400 km) e o Opel Ampera e/Chevrolet Bolt (com 520 km NEDC ou 238 milhas EPA). Em primeiro lugar, as pessoas precisam saber que este NEDC, que é útil para comparar diferentes modelos, não representa o perfil de condução da maioria dos utilizadores e, portanto, as autonomias reais serão normalmente menores. Na verdade, esses fabricantes disponibilizam, na Internet, simuladores para os interessados poderem prever a autonomia do modelo de acordo com o seu perfil de condução, velocidade, temperatura e outros parâmetros. Mas é também fundamental que as pessoas percebam, que escolher um veículo elétrico não deve ser exatamente o mesmo que escolher um carro a gasóleo ou a gasolina. Eles não precisam ter a mesma autonomia. Para um veículo com MCI aumentar a autonomia (para o mesmo peso, tamanho e forma do veículo) significa apenas ter um depósito maior, mas barato e leve. Mas para um VE, mais autonomia

significa baterias com mais capacidade, mas mais pesadas (umas dezenas ou centenas de kg), mais caras (milhares de €) e que ocupam mais espaço, o que para a maioria dos condutores será utilizado apenas em muito poucas ocasiões. Como se viu na secção 2, o peso tem influência direta nas forças resistentes ao movimento e nos momentos de inércia e portanto nos consumos e no desempenho do veículo. É como andar com a mala que se precisa para o fim-de-semana permanentemente às costas. Então, é importante analisar mais cuidadosamente as necessidades reais do utilizador para tomar uma decisão mais informada e inteligente. A escolha do tipo de veículo deverá ter em consideração algumas questões como, por exemplo: A família tem mais de um veículo? A maioria das viagens será feita na cidade ou na periferia? As viagens com mais de 100 km serão raras e/ou existe uma infra-estrutura de carregamento rápido amplamente disponível? Se a resposta a estas questões é sim, então um carro confortável com uma bateria moderada de 25 kWh, pode ser uma solução mais acessível e inteligente do que o mesmo carro com 50 kWh (e libertando 25 kWh de capacidade de bateria para outro veículo). Por exemplo a Honda diz que um alcance de 80 milhas é suficiente para o Clarity Electric 2017. Um desafio para os fabricantes será então produzir modelos que utilizem baterias modulares (incluindo o sistema de gestão térmica), e que possam ser vendidos com baterias de diferentes capacidades, adequadas à utilização. O ideal seria poder ser vendido mais barato e mais leve com uma bateria de, por exemplo, 25 kWh mas com a possibilidade de, numa intervenção rápida e com preço adequado, poder adicionar um segundo pacote de 25 kWh (ou de capacidade superior), comprado permanentemente ou alugado para férias ou outros períodos de tempo. Mas, noutros casos, seria mais adequado usar um veículo elétrico híbrido plug-in ou um híbrido normal.

4. Utilização de autocarros, táxis e transportes de mercadorias elétricos

Para aumentar a eficiência energética e reduzir a dependência do petróleo, mas especialmente devido à poluição urbana (incluindo sonora), há uma necessidade urgente de utilização de autocarros, táxis e transportes



de mercadorias elétricos nas cidades (ou híbridos plug-in, para utilizações interurbanas). Embora ainda numa fase inicial, a utilização de autocarros elétricos representará um mercado enorme a nível global, com vários fabricantes a apresentar ou anunciar novos modelos. Alguns relatórios muito interessantes sobre experiências e modelos de autocarros atualmente já em circulação foram apresentados recentemente [9][10][11][12][13]. Alguns fabricantes estão a instalar ou a anunciar novas fábricas para a produção de autocarros elétricos, como a BYD na Hungria, França, Brasil e Argentina, ou, até em Portugal, a CaetanoBus. Também em finais de Julho de 2017 se iniciou no Tramagal, em Portugal a produção em série do camião ligeiro de mercadorias 100 % elétrico Mitsubishi Fuso eCanter. Os autocarros elétricos entrarão nas frotas das cidades de forma muito acentuada nos próximos anos. Em Portugal, o lançamento do financiamento em curso no âmbito do Programa PO SEUR é um sinal claro disso. Neste tipo de transportes, para aumentar a autonomia, uma possibilidade será utilizar carregamentos rápidos de elevada potência (1C, 2C ou superior), durante pequenas paragens (desde alguns segundos a cerca de 10 min), quer usando carga condutiva (por cabo), sem fios ou com pantógrafo como o sistema OppCharge ou similar. No entanto, ainda existem muitas questões importantes, a resolver, como, por exemplo, clarificar se será mais adequado (em termos de ciclo de vida da bateria, eficiência energética, custo total de propriedade, etc.) utilizar veículos com baterias de elevada capacidade (caras, pesadas, volumosas) fazendo carregamento lento durante a noite e conduzindo o veículo até ao limite da descarga admissível (profundidade de descarga, Depth of Discharge, DoD, de 90%, por exemplo); ou o mesmo veículo com “cargas oportunísticas” (opportunistic charge, OC) de 5 ou 10 min com 1C-2C (ou mais), mas não descendo abaixo de 40% ou 50 % de DoD. Esta questão pode ter muitas variantes: usar baterias menores com OC ou maiores e mais pesadas sem carga rápida durante o dia? Qual é a influência disso no desempenho do veículo, no Custo Total da Posse (Total Cost of Ownership, TCO) e no tempo de vida? Qual é a influência da química particular usada (LFP, LTO, NMC, ...) nos resultados? Estas são algumas das questões

para as quais ainda não há respostas definitivas que precisam ser profundamente estudadas e esclarecidas.

5. Expansão da rede de carregamento

Um dos fatores mais determinante para a adoção de VE pelos consumidores, associada ao custo e autonomia, é a existência de uma rede de carregamento que mitigue as limitações associadas ao carregamento. Essa comodidade natural nos veículos a combustão interna tem que ser garantida na mobilidade elétrica. É pois, de vital importância que as redes de carregamento sejam implementadas à com algum avanço para que a transição seja feita sem percalços.

Portugal começou a instalar uma rede piloto em 2010, que com avanços e recuos está em vias de ser terminada. Para além dessa rede piloto poucos foram os carregadores de acesso público instalados até agora, fruto da pouca atratividade comercial de tal atividade, algo que começa a ser alterado com o início da possibilidade de cobrança do serviço de carregamento que está para breve, e com o aumento do número de utilizadores.

Em toda a Europa os governos e a União Europeia têm financiado a instalação de redes de carregamento, bem assim como as marcas de automóveis se têm associado a esse esforço, cofinanciando as redes, ou instalando eles mesmos carregadores. Noutras geografias tem acontecido o mesmo, pelo que grande parte das redes existentes têm alguma forma de financiamento público e das marcas.

Já começa a surgir interesse de investimento privado nas redes de carregamento, e uma grande variedade de modelos de negócio que as suportam, sendo previsível que o negócio de serviço de carregamento venha a ter um crescimento exponencial.

A rapidez de carregamento é essencial, e por isso, a par com as redes de carregamento normal, que se destinam a ser usadas quando o veículo está parado durante algum tempo, como por exemplo no modelo workplace charging, é indispensável proporcionar a possibilidade de carregamento rápido. Grande parte do financiamento da União Europeia destina-se a carga rápida de 50kW, uma potência que os veículos atuais são capazes de utilizar, pois isso facilita as deslocações intra e inter estados membros.

Com o aumento da capacidade das baterias, tendo em vista a maior autonomia dos veículos, a potência de carregamento também necessita de aumentar. Daí que estejam em preparação vários projetos de instalação de carregadores até 350kW, sendo destinados sobretudo ao carregamento dos futuros VE de maior autonomia. Os carregadores de 50kW continuarão a ser usados para distâncias mais curtas, até 150 km.

A expansão prevista da infraestrutura de carregamento, com uma combinação adequada de carga lenta e rápida é exponencial pois ela deve acompanhar, até com alguma antecedência como já referido, o crescimento que se espera do número de VE.

6. Preparação e integração dos VEs numa rede inteligente

A rede elétrica está neste momento a enfrentar uma mudança de paradigma, nomeadamente ao nível da rede de distribuição, em resultado do aumento da produção distribuída de eletricidade proveniente de recursos primários renováveis e variáveis no tempo e que está a ser ligada sobre estas redes, tornando-as redes ativas e alterando, desta forma, significativamente as suas condições de exploração. A rede elétrica de distribuição passou assim a ser ativa, monitorizável e controlável, tornando-se no que hoje designamos por uma smart grid.

Por outro lado, ocorre simultaneamente um aumento da importância do consumidor final, que deixou de ser passivo, para passar a ter capacidade de gestão dos seus consumos e a incorporar auto-produção e sistemas de armazenamento de eletricidade, entre os quais podemos considerar as baterias de um veículo elétrico, que podem ser controladas na fase de carregamento e podem também fornecer energia elétrica à instalação de utilização, no âmbito do conceito V2H (vehicle to home). Esta última característica pode também ser designada por V2G (veículo para a rede, do inglês vehicle-to-grid), permitindo a disponibilização de vários serviços de sistema, tais como reserva e injeção de potência para apoio à operação sistema, descongestionando ramos e apoiando o equilíbrio entre procura e oferta.

A massificação da mobilidade elétrica terá impactos significativos no planeamento e

operação dos sistemas elétricos de energia, por constituir uma carga adicional que terá simultaneidades elevadas em períodos do dia que coincidem com a chegada a casa dos condutores destes veículos, sendo necessário controlar este carregamento explorando as funcionalidades de comunicação no âmbito da smart grid. Ocorrerá assim que frequentemente os períodos de carregamento podem coincidir com o momento em que ocorre o pico do consumo do diagrama de cargas tradicional – o início da noite. No entanto, como as baterias do veículo elétrico apresentam uma característica de flexibilidade de carregamento e será possível comunicar com os seus pontos de carregamento será possível, evitar sobrecargas nas redes e no sistema electroprodutor. Com efeito, quando se dispõe de um período de várias horas para carregar as baterias dos veículos elétricos, normalmente durante a noite, é possível modular esse carregamento da bateria, transferindo essa carga para os períodos de vazio do diagrama de cargas. A esse tipo de carregamento chama-se de carregamento inteligente ou de smart charging na literatura anglo saxónica. De salientar que esta filosofia de smart charging deve também ser explorada para carregar as baterias quando ocorrer uma maior disponibilidade por parte dos recursos energéticos primários renováveis, contribuindo assim claramente para a descarbonização da mobilidade.

Daqui resulta que, de uma forma genérica, o sistema elétrico conseguirá acomodar sem necessidade de grandes reforços e investimentos (nomeadamente em infraestruturas de rede e de geração) a futura massificação da mobilidade elétrica, desde que sejam implementadas estratégias inteligentes de controlo de carregamento, a coordenar com os operadores da rede elétrica e com a disponibilidade das fontes de energia renovável dentro do âmbito dos conceitos de smart grid.

7. Conclusão

Existem outros desafios para além dos anteriormente mencionados. Por exemplo a necessidade de aumentar a utilização dos

designados modos suaves, nomeadamente com veículos de 2 ou 3 rodas, na qual Portugal poderá ter um papel relevante pelo menos a nível Europeu ou até a nível global. Ou o acompanhar as intensas atividades de normalização no setor da mobilidade elétrica [14], se a nossa indústria pretende ter um papel relevante na área da mobilidade elétrica a nível global. Os veículos autónomos colocam também novos desafios a todos os níveis. Em resumo, vivemos tempos excitantes e únicos para uma mobilidade mais sustentável e inteligente. A APVE, com os seus associados, continuará a ter um grande papel a desempenhar e a estar presente na implementação deste caminho!



Referências

- [1] Iniciativas da APVE, APVE, www.apve.pt/upload/conteudo_index/actividades_apve/iniciativas.htm
- [2] Iqbal Husain, *Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals*, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 2.ª ed. 2010.
- [3] James Larminie, John Lowry, *Electric Vehicle Technology Explained*, John Wiley & Sons, New York, 2003. Nota: existe uma segunda edição de julho de 2012.
- [4] Rui Bica, "BMW's vision for electric mobility", Plenary session at IEEE VPPC 2014, Oct 30, 2014. Disponível em: www.vppc2014.org/presentations.html e em https://youtu.be/UiTml_iNsM?list=PLZihEjj21AFravqy_JhBshUGcbg2GKeQl (acedida em 27-07-2017).
- [5] Renault - "With 1 litre/100km", EOLAB is a showcase for renaud's innovations in favour of the environment and rises to the challenge of ultralow fuel consumption", Renault Press Kit, September 16, 2014. <http://media.renault.com/global/en-gb/renault/Media/PressKit.aspx?mediaid=61733> (acedida em 27-07-2017).
- [6] Laurent Taupin, "1 L/100km: with EOLAB, Renault rises to the challenge of ultralow fuel consumption", *Energy and Mobility for Smart Cities*, 25 e 26 de Novembro 2015, Cascais, Portugal.
- [7] Maarten Messagie, Faycal-Siddikou Boureima, Thierry Coosemans, Cathy Macharis, Joeri Van Mierlo, "A Range-Based Vehicle Life Cycle Assessment Incorporating Variability in the Environmental Assessment of Different Vehicle Technologies and Fuels", *ENERGIES*, Volume 7, Issue 3, pp. 1467-1482, 2014.
- [8] Anders Nordelöf, Maarten Messagie, Anne-Marie Tillman, Maria Ljunggren Söderman, Joeri Van Mierlo, "Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles – what can we learn from life cycle assessment?", *Springer, The International Journal of Life Cycle Assessment*, ISSN 0948-3349, DOI 10.1007/s11367-014-0788-0, published on-line 21 August 2014.
- [9] J. Aber, *Electric Bus Analysis for New York City Transit*, Columbia University, New York, May 2016. Available at www.columbia.edu/~ja3041/Electric%20Bus%20Analysis%20for%20NYC%20Transit%20by%20J%20Aber%20Columbia%20University%20-%20May%202016.pdf
- [10] J. Grütter, *Real World Performance of Hybrid and Electric Buses*, Grütter Consulting AG, Reinach, Switzerland, February 22, 2015, available at www.replic.ch/files/7114/4126/7442/Grutter_FinalReport_e_web.pdf
- [11] M. Mahmoud, R. Garnett, M. Ferguson, P. Kanaroglou, "Electric buses: A review of alternative powertrains", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 62, September 2016, Pages 673-684, ISSN 1364-0321 (<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.019>).
- [12] S. Edelstein, "One third of new transit buses will be electric in 2020, all by 2030: Proterra CEO", Feb 13, 2017, available at www.greencarreports.com/news/1108839_one-third-of-new-transit-buses-will-be-electric-in-2020-all-by-2030-proterra-ceo
- [13] ZeEUS eBus Report, An overview of electric buses in Europe, FP7 European Project ZeEUS, December 2016, available at <http://zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-ebus-report-internet.pdf>
- [14] Paulo G. Pereirinha, João P. Trovão, Victor Santos, "Electric Propulsion Vehicles Standardization: Where Are We?", *Electrical Engineering Electronic Journal, AEDIE*, Vol.1, No. 3, May 2016, ISSN 2172-1246. Available at www.aedie.org/papers/16116-pereirinha.pdf

Nota: outras referências não citadas

Honda diz que um alcance de 80 milhas é suficiente para o Clarity Electric 2017. [HybridCARS, abril de 2017] : <http://www.hybridcars.com/why-honda-says-80-miles-range-enough-for-its-2017-clarity-electric/>
<http://www.jornaldenegocios.pt/empresas/detalhe/producao-em-serie-da-fuso-canter-100-elctrica-arranca-esta-semana-no-tramagal>