

Quantificando as vantagens dos carros elétricos: caso de estudo

06 julho 2020, segunda-feira Alterações climáticas Energia Gestão



A indústria automóvel está a apostar massivamente em veículos elétricos (VE) para ir ao encontro das evidentes necessidades ambientais. Neste âmbito, um elemento que jogará um papel relevante serão as baterias de íões de lítio, de forma a aumentar a autonomia dos automóveis. Neste artigo, são apresentados os vários tipos de baterias, com ênfase nas baterias de íões de lítio, descrevendo-se os seus componentes. A seguir, é apresentado um caso de estudo para veículos elétricos (VE) em comparação com os veículos de combustão interna (VCI) a gasóleo e veículos híbridos ao nível do custo de aquisição, custo por km, impostos, autonomia, e fator ambiental, entre outros. Tendo em conta as emissões de CO₂, é demonstrado que a partir do 33º mês, ou a partir dos 76725 km de distância percorrida, o VE passa a ser ambientalmente mais ecológico em detrimento da utilização do VCI.

Os veículos elétricos contam com quase 200 anos de história, tendo surgido em meados do século XIX, quando Ányos Jedlik desenvolveu o primeiro motor elétrico no ano de 1828. No entanto, a sua aplicação prática só se tornou possível aquando da introdução das baterias de chumbo ácido no ano de 1881. Em 1884, Thomas Parker desenvolveu em Londres o primeiro carro elétrico com baterias recarregáveis. Até ao início do século XX o interesse em veículos elétricos cresceu continuamente devido à existência de vantagens relativamente aos motores de combustão interna, entre as quais se destacam os reduzidos ruídos, odores e vibrações, bem como o facto de não necessitarem de caixa de velocidades. Este tipo de veículo era muito adequado para o perfil de mobilidade da época, onde as deslocações eram predominantemente curtas [1].

No entanto, a partir de 1920, uma série de fatores [2] conduziram ao declínio na comercialização deste tipo de veículos. Em primeiro lugar, o significativo desenvolvimento da rede rodoviária entre cidades geograficamente distantes levou à necessidade de produzir veículos mais rápidos e de elevada autonomia, com capacidade de efetuar distâncias inabarcáveis pelos veículos elétricos dessa altura. A descoberta de grandes reservas petrolíferas levou a uma significativa queda nos preços dos combustíveis, levando a que a mobilidade em veículos de combustão interna ficasse mais barata, rápida e com maior autonomia comparativamente à mobilidade com veículos elétricos. Finalmente, o desenvolvimento do motor de arranque em 1912 eliminou a necessidade de uma manivela para o arranque dos motores de combustão. Face ao exposto, a produção de carros elétricos foi reduzida a pequenas áreas das aplicações até ao final do século XX [2].

A crise energética das décadas de 70 e 80 do século XX contribuiu significativamente para reavivar o interesse na tecnologia elétrica para veículos, devido à sua independência face às flutuações do mercado do petróleo. Na década de 90 alguns construtores automóveis como a General Motors, a Chrysler ou a Honda reiniciaram a produção de alguns modelos elétricos. No entanto, à semelhança dos veículos mais antigos, estes carros eram pouco competitivos, devido ao seu elevado custo, baixas velocidades e autonomias. Só a partir de 2004, com o desenvolvimento das baterias de íão-lítio e com a posterior entrada da Tesla Motors no mercado da mobilidade elétrica, é que surgiram os primeiros veículos com autonomia superior a 300 km por carga. Este movimento foi seguido por todos os principais construtores automóveis, devido às crescentes preocupações ambientais relacionados com a queima de combustíveis fósseis, numa tentativa de criar um mercado mais competitivo e

sustentável. Esta expansão de oferta no mercado teve como consequência um significativo aumento da procura de veículos elétricos a nível global nos últimos anos [3]. No final de 2018, a oferta de veículos elétricos em Portugal cifrava-se em 17 modelos de 11 marcas diferentes.

Tipos de baterias

Atualmente existem diferentes tipos de baterias, como por exemplo, a bateria de ião-lítio (lão-Li), a bateria de níquel-cádmio (Ni-Cd), a bateria de hidreto metálico de níquel (NiMH), e a bateria de chumbo-ácido (PbAc), entre outras. A tabela 1 apresenta alguns dos parâmetros mais relevantes que caracterizam estas baterias.

Tabela 1 – Comparação dos principais parâmetros que caracterizam as baterias Ni-Cd, PbAc, NiMH e lão-Li [4, 5].

Parâmetro/Tipo de bateria	Ni-Cd	PbAc	NiMH	lão-Li
Eléctrodo negativo	Cd	Pb	Liga MH	Li_xC_6
Eléctrodo positivo	NiOOH	PbO_2	NiOOH	$\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$
Tensão Nominal / V	1.2	2.1	1.2	3.6
Densidade energética / Wh.kg⁻¹	40-60	33-42	60-120	100-265
Segurança	Termicamente estável	Termicamente estável	Termicamente estável	Circuito de proteção obrigatório
Intervalo de temperatura / °C	-30 to 60	-35 to 45	-20 to 50	-10 to 50
Auto-descarga (%/mês)	25-30	3-20	30-35	5-10
Eficiência carga/descarga (%)	70-90	50-95	66	99.9
Efeito de memória	Sim	Sim	Sim	Não
Número de ciclos (80% de profundidade de descarga)	1000	200-300	300-500	1000 – 2000
Requerimento de manutenção	Sim	Sim	Sim	Não

A tabela 1 mostra que as baterias de ião-lítio se destacam das restantes baterias, apresentando elevada densidade energética e tensão nominal, baixo valor de auto-descarga, elevada eficiência nos ciclos de carga e descarga, ausência de efeito de memória e elevado número de ciclos.

As baterias de ião-lítio são constituídas por dois eléctrodos (ânodo e cátodo), um separador embebido numa solução de um eletrólito, sendo esta solução constituída por sais dissolvidos num solvente não aquoso, e por coletores de corrente.

Os coletores de corrente correspondem a uma folha de alumínio para o cátodo e uma folha de cobre para o ânodo por serem bons condutores elétricos e eletroquimicamente estáveis na gama de potencial de funcionamento da bateria.

Baterias de ião-lítio

O processo de funcionamento das baterias de íão-lítio foi explicado em trabalhos anteriores, e baseia-se em processos de carga/descarga, sendo que durante o processo de carga os eletrões se deslocam do cátodo para o ânodo pelo circuito externo e os íões de lítio atravessam simultaneamente o separador que separa fisicamente os dois elétrodos [4]. Em alternativa, outras baterias com utilização de lítio, como o lítio-ar ou o lítio-enxofre, estão a ser estudadas. O grande potencial das baterias de lítio-ar reside na elevada densidade energética teórica (~12 kWh/kg) comparável à da gasolina (~13 kWh/kg), tendo sido já desenvolvidos dispositivos com uma densidade energética de ~1.7 kWh/kg que é cerca de cinco vezes maior comparativamente às baterias de íão-lítio comercialmente disponíveis. Este tipo de baterias permite uma autonomia de aproximadamente 500 km num carro elétrico de 2 toneladas com uma única carga utilizando uma bateria de 60 kg. As baterias de lítio-enxofre (bateria Li-S) são outro tipo de baterias que, devido à sua elevada densidade energética (~500 Wh/kg), são potencialmente melhores do que a maior parte das baterias de íão-lítio atualmente disponíveis no mercado (~150 a 200 Wh/kg), com custos mais reduzidos devido ao uso de enxofre [6]. A reação completa durante a descarga converte o metal de lítio (ânodo) em Li_2S na superfície do cátodo de carbono-enxofre. O movimento dos íões de lítio do ânodo para o cátodo é equilibrado pelo fluxo de dois eletrões no circuito exterior, duplicando a corrente elétrica numa gama de potencial entre 1.7 e 2.5 V, dependendo do estado de carga da célula [6]. Baterias de Li-S com voltagem nominal de 2.1 V e até 1500 ciclos de carga/descarga já foram reportados pela empresa Oxis Energy (Abingdon, Inglaterra) [6]. No entanto, ambos os tipos de bateria apresentam atualmente muitas limitações, necessitando de melhoramentos significativos em diferentes campos, tais como aumento da sua capacidade, potência, segurança, etc., antes de serem comercialmente viáveis [6].

Componentes

Eléttodos: constituição e fabricação

Independentemente do tipo de elétrodo, os seus constituintes básicos são o **material ativo**, o **material condutor** e o **polímero “cola”**, tendo cada um destes constituintes uma função específica como se mostra na tabela 2. A performance eletroquímica final do elétrodo é afetada pela qualidade destes materiais, respetivas quantidades relativas e método de preparação, entre outros [7].

Tabela 2 – Constituintes básicos dos eléttodos, função específica e proporções típicas

Elétrodo	=	Material ativo	+	Material Condutor	+	Polímero “Cola”
Função específica		Estrutura cristalina que recebe e liberta os íões de lítio		Aumenta a condutividade elétrica do elétrodo		Funciona como cola entre o material ativo e o material condutor
Cátodo/ Exemplos		LiCoO_2 ; LiMn_2O_4 , LiFePO_4 ; $\text{LiNi}_{0.33}\text{Mn}_{0.33}\text{Co}_{0.33}\text{O}_2$, $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$		Carbono		Poli(fluoreto de vinilideno)
Ânodo/ Exemplo		Grafite e $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$		Carbono		Poli(fluoreto de vinilideno)
Proporções típicas		95% a 60 %		3 % a 30 %		2 % a 25 %

O material ativo atua como reservatório de lítio no elétrodo e determina a capacidade de armazenamento de energia da bateria, enquanto que o material condutor é usado para aumentar a condutividade elétrica do elétrodo. Por fim, o polímero tem como função criar a coesão do filme de elétrodo, “colando” os outros dois constituintes, e proporcionar a adesão/colagem do filme de elétrodo ao coletor de corrente de forma a garantir a sua estabilidade mecânica.

A quantidade de material ativo usada varia entre 60 % a 95 %, a do material condutor entre 3 % a 30 % e a do polímero entre 2 % a 25 %, sendo a proporção 80 % / 10 % / 10 % e 96 % / 2 % / 2 % para o material ativo, material condutor e polímero a mais utilizada pela comunidade científica e indústria, respetivamente [7].

O que difere entre o ânodo e o cátodo é essencialmente o tipo de material ativo (tabela 2) sendo os outros dois constituintes, material condutor e polímero cola, comuns para ambos os elétrodos.

Separador

Um material indispensável em todos os dispositivos eletroquímicos é o separador que separa o ânodo do cátodo e cuja função depende do tipo de aplicação, sendo, no caso das baterias de ião-lítio, o meio de transferência dos iões de lítio entre os elétrodos.

Existem diferentes tipos de separadores, tais como filmes microporosos, não tecidos, membranas de troca iónica, membranas suportadas por líquidos, eletrólito polimérico sólido e condutores iónicos sólidos [4].

O separador mais utilizado é constituído por uma membrana porosa molhada por um eletrólito [4], sendo as características principais exigidas para aplicação em baterias as seguintes [4]:

- Espessura uniforme,
- Permeabilidade,
- Porosidade e tamanho de poro,
- Molhabilidade: absorção e retenção de eletrólitos,
- Estabilidade química e dimensional,
- Resistência à perfuração e tração,
- Estabilidade térmica.

Esses tipos de separadores são fabricados tipicamente através de materiais poliméricos nos quais se destacam o polietileno (PE), polipropileno (PP), poli(cloreto de vinilo) (PVC) e poli(fluoreto de vinilideno) (PVDF).

O eletrólito de lítio é uma solução constituída por solventes não aquosos que devem apresentar uma elevada constante dielétrica (ϵ), baixa viscosidade (η) e encontrar-se no estado líquido na gama de temperaturas de utilização da bateria [4]. Os solventes mais utilizados são o carbonato de etileno (EC), carbonato de propileno (PC), carbonato de dimetilo (DMC) e carbonato de dietilo (DEC) destacando-se as diferenças a nível da temperatura do ponto de fusão (varia entre $-48,8$ °C até $36,4$ °C), do valor da viscosidade (0,59 cP - 2,53 cP) e da constante dielétrica (2,8-90).

No caso dos sais de lítio, estes devem dissolver-se completamente no meio não aquoso, serem estáveis/inertes e os iões (principalmente o catião Li^+) mover-se facilmente no meio não aquoso [4]. Existem diferentes sais de lítio que são utilizados nas baterias, tais como LiBF_4 , LiPF_6 , LiAsF_6 e LiClO_4 , destacando-se o hexafluorofosfato de lítio (LiPF_6) como sendo o sal mais utilizado nas baterias recarregáveis devido à sua solubilidade e estabilidade química.

Carros elétricos: caso prático

Por forma a contextualizar, o perfil de mobilidade utilizado neste caso prático consiste essencialmente em deslocações diárias entre a residência e o trabalho, onde 95% das deslocações estão compreendidas entre 50 a 150km diários, com uma média de 85km. Estão também incluídas as deslocações de lazer, nomeadamente aos fins de semana, feriados e férias.

Pelo facto de a residência estar localizada fora do centro urbano, existem limitações na procura de alternativas baseadas em transportes públicos que cumpram com a comutação diária apresentada, pelo que a utilização destes é esporádica e não constituem uma opção viável.

A opção pela aquisição de um novo veículo deveu-se sobretudo ao significativo aumento dos custos de manutenção do veículo anterior. Este veículo de combustão interna (VCI) apresentou custos de manutenção que em alguns casos superaram os custos com combustível, sugerindo que a utilização do mesmo de forma intensiva levaria a um aumento ainda maior dos custos ao longo dos anos

Foi feita previamente uma análise comparativa com as vantagens e desvantagens de um VE em relação a um plugin/híbrido e um VCI, como mostra a tabela 3.

Tabela 3 – Análise comparativa entre o VE, plugin/híbrido e VCI com a identificação de alguns fatores críticos.

Fatores	VE	Plugin/Híbrido	VCI
Custo de aquisição	Pouco favorável	Favorável	Muito favorável
Custo por km	Muito favorável	Favorável	Pouco favorável
Manutenção	Muito favorável	Favorável	Pouco favorável
Impostos	Muito favorável	Pouco favorável	Pouco favorável
Autonomia	Pouco favorável	Muito favorável	Muito favorável
Incentivos	Muito favorável	Pouco favorável	Pouco favorável
Fator ambiental	Muito favorável	Favorável	Pouco favorável
Performance	Muito favorável	Favorável	Favorável
Planeamento de viagens	Pouco favorável	Favorável	Muito favorável
Conforto	Muito favorável	Favorável	Favorável
Degradação da bateria	Pouco favorável	Favorável	Muito favorável
Rede de abastecimento	Pouco favorável	Muito favorável	Muito favorável

De seguida serão descritos os vários fatores da tabela 3 e relacionados com o caso de estudo.

Como VE foi tido em conta o Nissan Leaf 40kWh com 150 cv da categoria *hatchback* que foi o carro elétrico mais vendido em Portugal e na Europa, durante o ano de 2018. Para efeitos de comparação foi selecionado como VCI o Volkswagen Golf Trendline 1.6 TDI 85 kW / 115 cv *hatchback* que apresenta características técnicas similares. Na categoria de híbrido foi selecionado o Toyota C-HR 1.8 Hybrid Comfort com 122 cv e classificado como o híbrido mais vendido em Portugal durante o ano de 2018.

Custo de aquisição

Segundo a página oficial de internet da Nissan Portugal, o preço de venda ao público (PVP) do Nissan Leaf 40kWh Acenta é de 32400€[1]. Da mesma forma e para efeitos de comparação, o Toyota C-HR 1.8 Hybrid Comfort apresenta um PVP de 28870€, enquanto que o Volkswagen Golf Trendline 1.6 TDI tem um PVP de 29197€. Desta forma, o VE tem um custo de aquisição superior do que os restantes veículos, enquanto que o VCI e o veículo híbrido apresentam preços semelhantes com custos de aquisição menores em cerca de 3400€.

[1] PVP recomendado de 35400€ com abatimento do incentivo de baixas emissões do estado, no valor de 3000€. Atualmente a Nissan efetua um desconto equivalente ao incentivo.

Custo por km

Na tabela 4 são apresentados os dados mensais de distância, energia percorrida e custos de utilização do Nissan Leaf 40kWh. Para a obtenção da energia consumida foi instalado um medidor de consumo. Adicionalmente, para o cálculo dos custos mensais de utilização, foi selecionado como entidade de fornecimento de energia elétrica a EDP com o plano de mobilidade elétrica verde bi-horário com tarifas de 0,11 €/kWh em vazio (das 22 horas às 8 horas) e 0,23 €/kWh fora do vazio. Cerca de 90% da energia consumida nos carregamentos foram efetuados no horário de vazio.

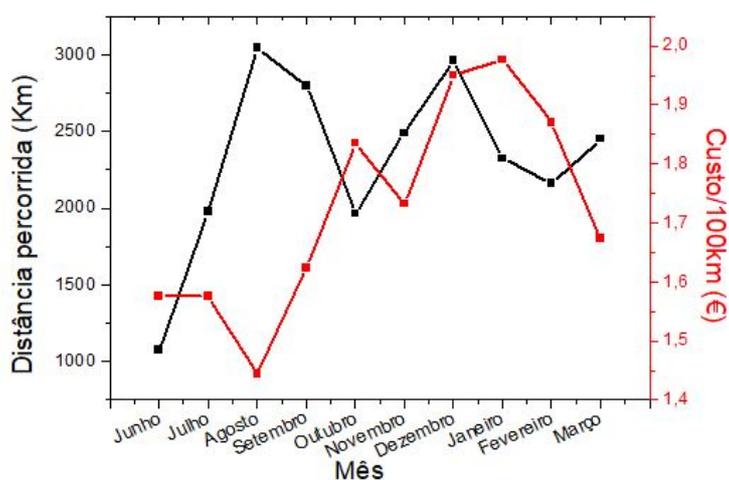
Tabela 4 – Dados mensais de distância, energia consumida e custos de utilização do Nissan Leaf.

#	Mês	Distância percorrida (km)	Energia consumida (kWh)	Custo
1	Junho	1078	135,20	16,99 €

2	Julho	1976	248,00	31,14 €
3	Agosto	3044	404,55	43,97 €
4	Setembro	2797	409,51	45,43 €
5	Outubro	1964	329,83	36,04 €
6	Novembro	2490	388,98	43,15 €
7	Dezembro	2962	496,17	57,79 €
8	Janeiro	2326	396,83	45,98 €
9	Fevereiro	2161	342,60	40,42 €
10	Março	2452	376,52	41,03 €
	TOTAL	23250	3528,20	401,94 €

Com base na tabela 4 é possível inferir o custo de utilização associado ao VE. O gráfico 1 mostra o custo de utilização em €/100 km em função dos meses presentes neste caso de estudo.

Gráfico 1 - Distância percorrida ao longo dos meses e custo por 100 km do veículo elétrico.



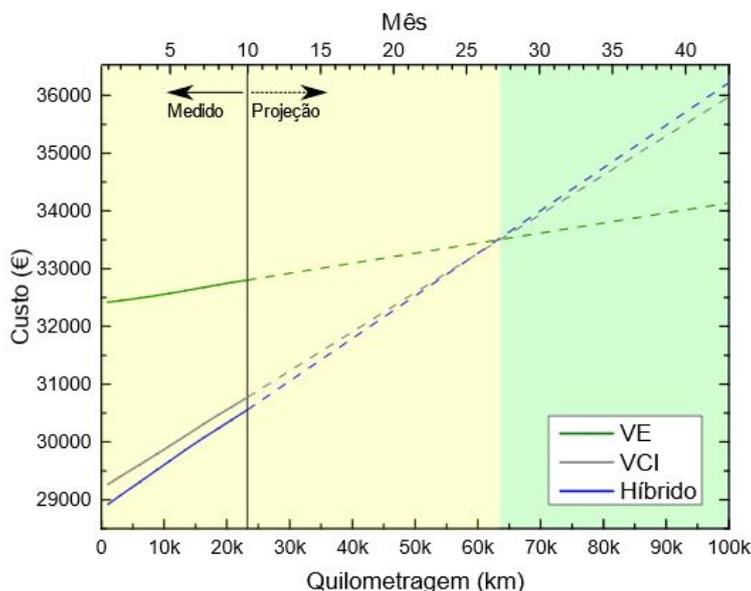
É possível observar uma oscilação dos custos entre 1,45 €/100 km até 2 €/100 km. Esta oscilação de custos de utilização tem como principais causas (i) a energia de carregamento que é consumida fora do período de vazio da tarifa bi-horária e (ii) os carregamentos que são realizados fora do domicílio que são maioritariamente gratuitos. Adicionalmente, agosto foi o mês do presente caso de estudo que menor custo de utilização obteve. Este facto deve-se ao período de férias, que envolveu a deslocação no VE de mais de 1500 km, tendo sido utilizada maioritariamente a rede de carregamento pública gratuita e entidades privadas que facultaram meios de carregamento também de forma gratuita.

Para efetuar uma análise comparativa, é necessário calcular os gastos mensais para o caso do VCI e do veículo híbrido. Para tal, foi consultado o relatório mensal sobre os combustíveis da Entidade Nacional para o Setor Energético E.P.E. (ENSE) [8] com informação sobre a evolução do PVP da gasolina 95 octanas e do gasóleo para o período entre abril de 2018 e maio de 2019.

O VCI selecionado tem publicitado na página de internet da Volkswagen Portugal um consumo *worldwide harmonized light vehicles test procedure* (WLTP) de 4,90 l/100 km e emissões de CO₂ de 128 g/km, enquanto que o veículo híbrido publicita um consumo WLTP de 4,8 l/100 km e emissões de CO₂ de 108 g/km. Para efeitos de comparação de custos de utilização e de emissões de CO₂, serão utilizados os valores WLTP anunciados.

Para obter dados de utilização futuros, é usada uma projeção linear com base nos dados obtidos até então (10º mês). O gráfico 2 mostra a evolução dos custos de aquisição e de utilização do VE, VCI e híbrido, com base nos dados obtidos e na projeção apresentada.

Gráfico 2 - Comparação de custos de utilização entre o VE, híbrido e VCI, tendo em conta o custo de aquisição. Com base nos dados medidos é realizada uma projeção onde é expectável a rentabilidade de um VE a partir do 27º mês (área a verde), apesar do custo de aquisição mais elevado do VE.



É possível observar que apesar de o Nissan Leaf 40kWh ter um custo de aquisição superior, o custo de utilização é significativamente inferior o que faz com que seja economicamente vantajoso a partir do 27º mês, ou aproximadamente a 64000 km, comparativamente ao VCI e híbrido.

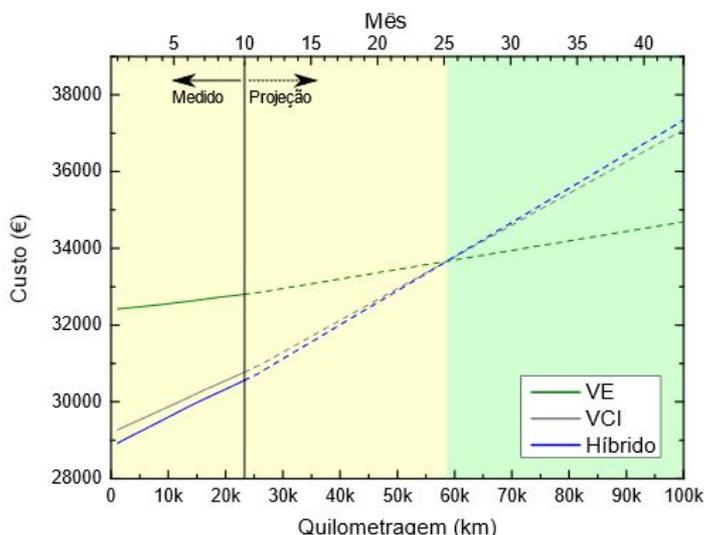
Manutenção

Um estudo elaborado por Logtenberg *et al.* [9] efetua uma análise comparativa dos custos de utilização e manutenção entre VE e VCI, onde refere que o custo do VE é cerca de 50% do custo de um VCI, devido essencialmente ao facto de as transmissões dos VE serem mais simples, com número significativamente menor de peças móveis, do que as transmissões dos VCI.

Adicionalmente, o relatório *Car Cost Index* da Leaseplan [10] refere que, em Espanha[2], os custos mensais de manutenção de um VCI a diesel e gasolina são de cerca de 35 €/mês.

Para efeitos de comparação, os custos de manutenção serão contabilizados a partir do 12º mês de utilização com 35 €/mês para o caso do VCI e do veículo híbrido, e 17,5 €/mês para o VE. O gráfico 3 mostra a evolução dos custos de utilização já com os custos de manutenção incluídos.

Gráfico 3 - Comparação de custos de utilização com manutenção entre o VE, híbrido e VCI, tendo em conta o custo de aquisição. Com base na projeção com os custos de manutenção, é antecipada a rentabilidade do VE a partir do 25º mês (área a verde).



Observa-se uma antecipação da rentabilidade do VE em relação aos outros veículos para o 25º mês, ou 58125 km.

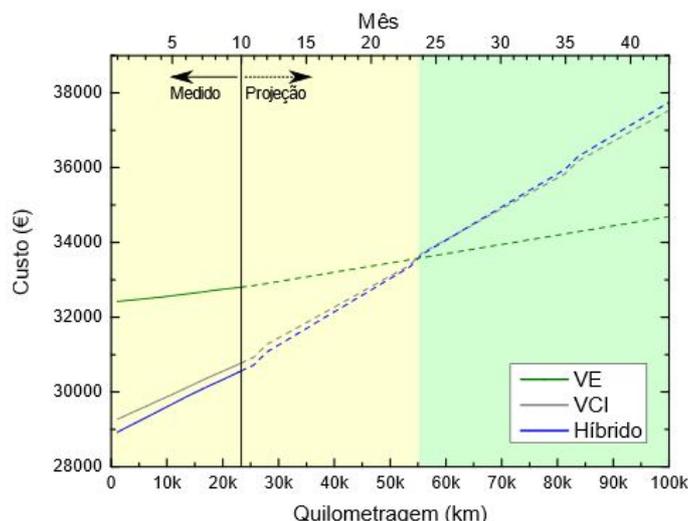
[2] Escolha de dados relativos a Espanha, devido à ausência de dados sobre os custos de manutenção em Portugal.

Impostos e Incentivos

Portugal tem como incentivos e benefícios fiscais para os VE (i) a isenção de imposto único de circulação (IUC), (ii) o incentivo para veículos de baixas emissões no valor de 3000,00€ em 2019 para as primeiras 1000 inscrições no fundo ambiental, (iii) redução e isenção de estacionamento em municípios com discriminação positiva, (iv) isenção do imposto sobre veículos (ISV) e, adicionalmente, para as empresas (v) a dedução do IVA e (vi) majoração de depreciações em sede de IRC. Para o presente caso de estudo apenas teremos em conta os incentivos e benefícios fiscais que podem ser usufruídos por pessoas singulares, ou seja, desde o ponto (i) até ao ponto (iv). Adicionalmente, por forma a uniformizar a comparação, não será tido em conta o ponto (ii) e (iii), uma vez que apenas as primeiras 1000 inscrições serão objeto do incentivo de baixas emissões e apenas alguns municípios fazem a discriminação positiva. Deste modo apenas será tido em conta os pontos (ii) e (iv), sendo que, no ponto (iv) já está incluído no PVP do VE a sua isenção. Desta forma, apenas a isenção anual do IUC terá efeitos na análise comparativa. O IUC anual considerado foi de 146,79 € para o VCI e 136,72 € para o veículo híbrido, obtido através de simuladores de IUC existentes.

O gráfico 4 mostra a evolução dos custos envolvidos com os custos de aquisição, utilização, de manutenção e IUC.

Gráfico 4 – Comparação de custos de utilização com manutenção e IUC entre o VE, híbrido e VCI, tendo em conta o custo de aquisição. Com base na projeção, é antecipada a rentabilidade do VE a partir do 24º mês (área a verde).



Observa-se novamente uma antecipação da rentabilidade do VE em relação aos outros veículos para o 24º mês, ou 55000 km.

Fator ambiental

De forma a quantificar o fator ambiental, irá ser analisado o fator das emissões de CO₂, assim como a parte relativa à extração de materiais e reciclagem.

Emissões de CO₂

Para a determinação do fator ambiental relativo às emissões para a atmosfera é realizada uma análise das emissões associadas à produção do veículo elétrico e durante a sua utilização. Com base nas emissões associadas à produção do veículo elétrico e durante a sua utilização, será efetuada uma análise simplificada sobre qual a contribuição geral que o veículo elétrico contemplado neste caso prático, o Nissan Leaf de 40kwh, terá relativamente às emissões, e feito um comparativo com um VCI de características similares[3].

[3] Para o propósito desta análise iremos dar o benefício da dúvida ao VCI em fatores não contabilizados.

No presente caso de estudo não serão contabilizadas as emissões em fim de vida do produto, uma vez que estas são relativamente baixas (< 3 %) quer para os VE quer para os VCI, comparativamente às emissões obtidas durante o fabrico e utilização, segundo o trabalho elaborado por Hawkins *et al* [11]. De igual modo, não serão contabilizadas as emissões de CO₂

relativas à extração, refinação e transporte associado ao tratamento dos combustíveis fósseis, que elevariam a quantidade de emissões totais, pelo que apenas são contabilizadas as emissões do VCI durante a fase de utilização.

Devido ao facto de a generalidade dos VE serem constituídos por um menor número de peças quando comparados com os VCI, as emissões associadas ao seu fabrico tendem a ser menores do que num VCI, excluindo a produção da bateria. Por forma a incluir o pior cenário neste caso de estudo, é designado que as emissões de CO₂ de um VE são equivalentes aos do VCI durante o fabrico, com exceção da bateria, cuja contribuição individual será estimada.

Um estudo elaborado pelo *Swedish Environment Institute* [12] aponta que a produção da bateria pode contribuir adicionalmente com 150 a 200 kg de CO₂ por kWh. Desta forma, é estimada uma emissão de 6 a 8 toneladas de CO₂ para o fabrico da bateria de 40 kWh.

De acordo com os dados recolhidos junto do fabricante do VCI, é utilizado como referência para as emissões de CO₂ o valor de 128 g/km para efeitos de comparação.

Neste contexto, é calculado que a utilização do VE evita a emissão de mais de 2,5 toneladas de CO₂ para a atmosfera durante a fase de utilização, em menos de um ano, para efetuar uma deslocação total de 23250 km. No entanto, para contabilizar as emissões relativas aos carregamentos elétricos efetuados pelo VE e obter uma representação realista do valor efetivo de emissões para a atmosfera, será necessário ter em consideração a origem da fonte sob a qual a energia elétrica é produzida. Por conseguinte, é realizada a distinção entre as fontes de energia renováveis e as fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis.

Segundo os dados obtidos pela Associação de Energias Renováveis (APREN) [13], durante o período compreendido entre junho de 2018 até março de 2019, que corresponde ao período do presente caso de estudo, 53,15% da eletricidade em Portugal Continental foi produzida através de fontes de energia renovável (englobando fontes de energia eólica, hídrica, solar e bioenergia). Por outro lado, foram produzidos os restantes 46,85% por intermédio a combustíveis fósseis, dos quais 20,65% por gás natural, 10,40% por intermédio de cogeração fóssil e 15,80% foram obtidas por carvão. Por forma a obter a contribuição individual das emissões de CO₂ por fonte de produção de energia elétrica não renovável, foram consultados os dados relativos aos fatores de emissão de CO₂ em Portugal Continental [14] da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE). A tabela 5 sumariza os fatores de emissão de CO₂ por kWh, discriminados por fonte de energia, e a sua respetiva contribuição no mix energético da produção de energia elétrica para o período compreendido entre junho de 2018 até março de 2019.

Tabela 5 - Fatores de emissão de CO₂ em Portugal Continental e a contribuição da fonte de energia no mix energético entre junho de 2018 até março de 2019.

Fonte de energia	Emissões de CO ₂ (g/kWh) [14]	Contribuição
Carvão	892	15,80%
Gás Natural	370	20,65%
Cogeração fóssil	327	10,40%

A equação 1 representa uma associação comparativa das emissões existentes durante a fase de produção e utilização entre o VCI e o VE, onde P_{VCI} são as emissões de CO₂ durante o fabrico do VCI, P_{VE} são as emissões de CO₂ durante o fabrico do VE excluindo a bateria, U_{VCI} são as emissões de CO₂ durante a fase de utilização do VCI, P_{bat} são as emissões de CO₂ de produção exclusivamente das baterias do VE, U_{VE} são as emissões de CO₂ durante a fase de utilização do VE e t é o tempo em meses.

Equação 1

$$P_{VCI} + U_{VCI} \times t = P_{VE} + P_{bat} + U_{VE} \times t$$

Deste modo, é possível obter uma quantificação do tempo necessário para absorver as emissões acrescidas do fabrico da bateria. Para tal, de acordo com o perfil de mobilidade apresentado, foram consumidos, no total, 3528,2k Wh para efetuar um total de 23250 km percorridos em 10 meses. Com a aplicação dos fatores de emissão de CO₂ juntamente com a respetiva contribuição, obtém-se um total de 0,887 toneladas de CO₂, ou 88,7 kg de CO₂/mês (U_{VE}). Para o caso do VCI, seriam emitidas 2,976 toneladas de CO₂, ou 297,6 kg de CO₂/mês (U_{VCI}). Por conseguinte, segundo o perfil de mobilidade apresentado, está

previsto que o impacto ambiental acrescido do fabrico das baterias, no valor de 7 toneladas de CO₂, seja anulado no 33º mês, ou passados 76725 km, comparativamente à opção de utilização de um VCI. Desta forma, a partir do 33º mês, ou a partir dos 76725 km de distância percorrida, passa a ser ambientalmente mais ecológico a utilização de um VE em detrimento da utilização do VCI.

Adicionalmente, com a aplicação da eq.1, é possível observar que os VE equipados com baterias de maior capacidade necessitam de percorrer maiores distâncias para alcançar a igualdade nas emissões de CO₂, comparativamente aos VCI equivalentes. Tomando por exemplo o Tesla Model 3 Long Range equipado com uma bateria de 75 kWh, seriam emitidas aproximadamente 13 toneladas de CO₂ adicionais durante o fabrico da bateria. Pela aplicação da eq.1 e segundo o perfil de mobilidade presente neste caso de estudo, a emissão adicional pelo fabrico da bateria seria compensada a partir do 62º mês, ou passados 144150 km.

Comparativamente ao veículo plugin/híbrido, é anunciado pela Toyota emissões de CO₂ de 108 g/km para o modelo C-HR 1.8 Hybrid Comfort. No entanto, é necessário ter em conta as emissões do fabrico da bateria do híbrido de 6.5 kWh, ou 1,137 toneladas de CO₂. De igual forma, é calculado que seriam emitidas 2,511 toneladas de CO₂, ou 279 kg de CO₂/mês (U_{VCI}). Por conseguinte, segundo o perfil de mobilidade apresentado, está previsto que o impacto ambiental acrescido do fabrico da bateria do VE, já retiradas as emissões correspondentes à produção da bateria do veículo híbrido, para um total de 5,863 toneladas de CO₂, seja anulado no 30º mês, ou passados 69750km.

Os valores das emissões de CO₂ do fabrico da bateria do VE apresentados neste ponto são conservadores, no sentido de serem superiores ao que se verifica na realidade. Adicionalmente, a existência de um menor número de peças móveis e peças totais que constituem um VE relativamente ao VCI faz com que seja expectável obter menores emissões relacionadas com o fabrico. Além disso, durante a fase de utilização a necessidade de substituição, ou retificação, das peças de desgaste por via da manutenção do veículo é menor. Todos estes fatores fazem com que a paridade das emissões de CO₂ entre o VE e o VCI seja conseguida mais cedo, pelo que este exercício providencia uma base de comparação que permite esperar do VE melhores resultados ecológicos. Finalmente, com a instalação de unidade de produção de autoconsumo (UPAC) residencial, minimizam-se as emissões de CO₂ pelo aumento de consumo a partir de uma fonte de eletricidade renovável, em detrimento da combinação de fontes energéticas existentes parcialmente obtidas através de combustíveis fósseis.

Materiais e mineração

A bateria do Nissan Leaf 40kWh utiliza diversos materiais, na sua constituição, obtidos através de mineração. A tabela 6 mostra alguns dos materiais ecologicamente mais críticos que são geralmente constituintes de uma bateria como as utilizadas nos VE [15].

Tabela 6 - Elementos ecologicamente críticos na composição da bateria de íões de lítio [15].

Material	Composição mínima (%)	Composição Máxima (%)
Lítio	5	7
Cobalto	5	20
Níquel	5	10

O lítio é maioritariamente extraído em localizações isoladas como o deserto do Atacama, no Chile, que é um dos líderes na produção de lítio. A obtenção do lítio requer elevadas quantidades de água, que impõem alterações significativas na área onde este material é extraído. No entanto, nas regiões onde se dá a extração, como no deserto do Atacama, a fauna e flora existente é residual ou inexistente, pelo que o impacto é limitado. Por outro lado, a perfuração e a extração de petróleo acontece mais frequentemente em ecossistemas com maior biodiversidade e mais frágeis, assim como em áreas mais isoladas, como no deserto da Arábia Saudita. Adicionalmente, o lítio é transportado para refinação, pelo que existe o risco acrescido de derrames que afetem significativamente o local. Deste modo, apesar de ambas as extrações apresentadas não serem ecologicamente amigáveis por acarretarem impactos ecológicos nos locais de extração, existe um impacto potencialmente superior na extração e transporte de petróleo.

Finalmente, com a inutilização da bateria do VE estimada em cerca entre 40 a 55% da capacidade original, esta é viável para utilização em soluções de armazenamento

residenciais ou industriais. E, quando esgotada a aplicabilidade da bateria, esta é reciclada, havendo, aliás, diretivas que impõem uma taxa de reciclagem superior a 50%, segundo a Diretiva Europeia 2006/66/EC.

Autonomia, rede de carregamento e planeamento de viagens

De acordo com o perfil de mobilidade apresentado, o VE escolhido tem autonomia suficiente para assegurar a comutação diária existente. Com a capacidade da bateria no valor de 40 kWh, são observadas autonomias entre 210 km a 300 km que satisfazem cerca de 95% das deslocações sem a necessidade de carregamento fora do domicílio. A variância da autonomia máxima é fortemente dependente do estilo de condução adotado, que é inversamente proporcional ao aumento da velocidade de deslocação, para velocidades superiores a 60 km/h, e ao aumento das acelerações. Por exemplo, para uma velocidade constante de 115 km/h é observada uma autonomia de 210 km.

Para as restantes viagens caracterizadas por distâncias superiores à capacidade atual da bateria, pode ser utilizada a rede pública de carregamentos, gerida pela Mobi.e. A rede conta principalmente com pontos de carregamento normais (PCN) onde podem ser efetuados carregamentos em corrente alternada com uma potência até 22 kW. Adicionalmente, a rede pública conta também com pontos de carregamento rápidos (PCR) onde podem ser efetuados carregamentos em corrente contínua com uma potência até 50 kW, mas limitados em número de postos (<100). Atualmente, a maioria dos PCN são gratuitos, devido ao facto de a rede ainda se encontrar em fase piloto, enquanto que os PCR são pagos. Atualmente a rede Mobi.e conta com 511 PCN e 64 PCR disponíveis[4].

No caso do Nissan Leaf, a potência máxima para os PCN está limitada a 6,6 kW pelo que pode significar um tempo de espera de 6 horas para efetuar um ciclo de carga completo (0% - 100%). Na rede de carregamento também existem vários PCN onde as potências são de 3 kW, que significa uma demora de até 13 horas para efetuar um ciclo de carga completo. Relativamente aos PCR, o Nissan Leaf limita os carregamentos nos PCR a 50 kW e tipicamente conseguem carregar cerca de 60% da capacidade da bateria em menos de 30 minutos.

Devido à escassa rede de carregamentos, aliada ao tempo de carregamento necessário, é desejável que se efetue um planeamento prévio das viagens próximas. Este planeamento envolve não só as viagens de longo curso que necessitariam de carregamentos intermédios devido à elevada distância, mas também para viagens de menor curso, pois a energia atual armazenada na bateria pode não ser suficiente para efetuar a deslocação. Deste modo, é aconselhável que se efetue um planeamento prévio para a comutação ou deslocação seguinte, provavelmente para o dia seguinte, para não correr o risco de não ter energia suficiente armazenada na bateria para a deslocação e ter de se deslocar por outro meio, ou então carregar o VE e esperar por um carregamento suficiente para o percurso em questão.

[4] Dados retirados do site da Mobi.e (<http://www.mobie.pt/>).

Conforto e performance

Outras vantagens herdadas da utilização do motor elétrico são o baixo ruído, as baixas vibrações e o elevado binário a baixas rotações, quando comparado com os motores de combustão interna. Estas vantagens traduzem-se num maior conforto nas viagens e uma melhoria na performance motora do veículo, sobretudo nas acelerações.

Degradação da bateria

A Nissan estende a garantia da capacidade da bateria, para o caso do Nissan Leaf 40 kWh, em 8 anos ou 160000 km (o que ocorrer primeiro), traduzindo-se numa capacidade superior a 66,25% da capacidade original da bateria. Neste caso de estudo, ainda não existem sinais perceptíveis da degradação da bateria manifestados principalmente na diminuição da autonomia. Para tal, é conveniente ter em conta alguns fatores que podem precipitar a degradação da bateria, nomeadamente a temperatura do módulo da bateria. Deste modo, é desejável planejar as deslocações por forma a evitar os carregamentos rápidos nos PCR que, devido à resistência interna, levam a um maior aquecimento do módulo da bateria. Adicionalmente, ter um estilo de condução mais suave, com menores acelerações e aparcamentos em lugares frescos, sobretudo no verão, também contribuem para uma estabilização da temperatura em valores ótimos para o módulo, evitando a sua degradação precoce.

Considerações finais

Para resolver as questões ambientais e reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, a indústria automóvel está a apostar no desenvolvimento dos veículos elétricos (VE) onde as baterias de íons de lítio terão um relevante papel tendo em conta as suas características. Foi realizado um caso de estudo para veículos elétricos (VE) em comparação com os veículos de combustão interna (VCI) a gasóleo e veículos híbridos abordando vários fatores, dos quais se destacam o custo de aquisição, custo por km, impostos, autonomia e fator ambiental, entre outros. Da análise efetuada foi demonstrado que partir do 33º mês, ou a partir dos 76725 km de distância percorrida, o VE passa a ser ambientalmente mais ecológico em detrimento da utilização do VCI CO₂. A nível económico, o retorno é ainda mais rápido, sendo alcançado após 24 meses de utilização, ou 55000 km.

Após a análise do caso de estudo, pode concluir-se que a aquisição de um VE é claramente vantajosa, desde que o potencial comprador seja capaz de cumprir alguns requisitos. O primeiro é a disponibilidade para efetuar carregamentos no domicílio, permitindo-lhe um maior controlo de custos e uma elevada disponibilidade energética para o veículo. O perfil de comutação diária é essencial, e deverá ser adequado à utilização de um VE. Deslocações diárias muito curtas tornam o tempo de retorno do investimento muito elevado, enquanto que deslocações muito longas exigem um planeamento cuidado de forma a possibilitar os carregamentos no decurso da viagem. Finalmente, também é importante uma boa capacidade de planeamento de viagens, que garanta a paragem em locais equipados com postos de carregamento a preços reduzidos, bem como a aplicação de um conjunto de boas práticas que permitam aumentar o tempo de vida útil da bateria. Ao cumprir estes requisitos, um potencial comprador poderá garantir um rápido retorno do seu investimento e assumir, simultaneamente, um maior compromisso com as boas práticas ambientais ao adquirir um veículo mais sustentável.

Agradecimentos

Aos colegas do Centro de Física da Universidade do Minho (<http://www.cf-um-up.pt/>) e do BCMaterials (www.bcmaterials.net) no âmbito da investigação em Electroactive Smart Materials (<https://www.esmg.pt>) pelas interessantes discussões, trabalho conjunto e excecional ambiente. Agradecemos à Fundação para a Ciência e a Tecnologia pelo apoio através do projeto estratégico UID/FIS/04650/2019 e UID/QUI/00686/2019 (incluindo os fundos FEDER através do Programa COMPETE 2020 e Fundos Nacionais), projeto, PTDC/FIS-MAC/28157/2017, as bolsas SFRH/BD/140842/2018 (J.C.B.) e SFRH/BPD/112547/2015 (CMC) e investigador CEECIND/00833/2017 (R. G.). Também se agradece o apoio financeiro do Departamento da Indústria do Governo Basco ao abrigo dos Programas ELKARTEK, HAZITEK e PIBA.

Artigo por: **Hélder Castro**, Centro de Física, Universidade do Minho; **João Barbosa**, Centro de Física, Universidade do Minho e Instituto de Ciência e Inovação para a Bio-Sustentabilidade, Universidade do Minho; **Renato Gonçalves**, Instituto de Ciência e Inovação para a Bio-Sustentabilidade, Universidade do Minho; **Senentxu Lanceros-Méndez**, Centro de Física, Universidade do Minho, Basque Center for Materials, Applications and Nanostructures (BCMaterials), Parque Científico UPV/EHU (Espanha) e IKERBASQUE, Basque Foundation for Science, Bilbao (Espanha); e **Carlos M. Costa**, Centro de Física, Universidade do Minho e Centro de Química, Universidade do Minho

Referências

- [1] H. Cutcliffe, S. and D. A. Kirsch, *The Electric Vehicle and the Burden of History*. Vol. 6. 2001. 326.
- [2] Anderson, C.D. and J. Anderson, *Electric and Hybrid Cars: A History*. 2nd ed. 2010.
- [3] Bunsen, T., et al., *Global EV Outlook 2019*. 2019.
- [4] Nunes-Pereira, J., C.M. Costa, and S. Lanceros-Méndez, *Polymer composites and blends for battery separators: State of the art, challenges and future trends*. *Journal of Power Sources*, 2015. **281**: p. 378-398.
- [5] University, B.; Available from: <http://batteryuniversity.com/>.
- [6] Manthiram, A., Y. Fu, and Y.-S. Su, *Challenges and Prospects of Lithium-Sulfur Batteries*. *Accounts of Chemical Research*, 2013. **46**(5): p. 1125-1134.
- [7] Gören, A., et al., *State of the art and open questions on cathode preparation based on carbon coated lithium iron phosphate*. *Composites Part B: Engineering*, 2015. **83**: p. 333-345.

- [8] Entidade Nacional para o Setor Energético E.P.E. (ENSE), "Relatório Mensal sobre Combustíveis - Maio de 2019", http://www.ense-epe.pt/wp-content/uploads/2019/05/Relatorio-Mensal_Maio-2019.pdf, visitada em 16/08/2019.
- [9] Logtenberg R., Pawley J., Saxifrage B., "Comparing Fuel and Maintenance Costs of Electric and Gas Powered Vehicles in Canada", Setembro de 2018.
- [10] LeasePlan Corporation N.V. - Consultancy Services, "Car Cost Index", <https://www.leaseplan.com/-/media/leaseplan-digital/gr/public-pages/documents/car-cost-index.pdf>, Maio de 2018.
- [11] Hawkins, T. R., Singh, B., Majeau-Bettez, G., & Strømman, A. H., "Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. Journal of Industrial Ecology", 17(1), 53-64, 2013. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x>
- [12] Romare M., Dahllöf L., "The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries", <http://www.energimyndigheten.se/globalassets/forskning--innovation/transporter/c243-the-life-cycle-energy-consumption-and-co2-emissions-from-lithium-ion-batteries-.pdf>, 2017.
- [13] "APREN - Produção", <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>, visitada em 13/08/2019.
- [14] ERSE, "Fatores de Emissão de CO2", http://www.erse.pt/pt/desempenhoambiental/rotulagemenergetica/informacaodesuporte/Documents/info_suporte_anual.xls, visitada em 13/08/2019.
- [15] Zeng X., Li J., & Singh N., "Recycling of Spent Lithium-Ion Battery: A Critical Review, Critical Reviews in Environmental Science and Technology", 44:10, 1129-1165, DOI: <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.763578>

Outros artigos que lhe podem interessar



Apoio de até 7500 euros para melhoria de eficiência energética



"Na Natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma", Antoine-Laurent de Lavoisier



Empresa recicla e dá segunda vida a máscaras descartáveis



Aberta fase de candidaturas para o projeto Living Streets

o que procura?



Artigos mais lidos

- 1 Concursos públicos na área do Ambiente
- 2 Apoio de até 7500 euros para melhoria de eficiência energética
- 3 "Na Natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma", Antoine-Laurent de Lavoisier
- 4 Estabelecido regime de instalações elétricas particulares

Os Nossos Autores



Transição energética

Leonor Amaral



A Estratégia Nacional para o Hidrogénio e a sua convergência para os objetivos do PNEC 2030

Jaime Braga



Atividades de engenharia nos solos marinhos

Paula F. da Silva

[VER TODOS »](#)

Edição Atual



Nº 125, novembro/dezembro 2020

Newsletter Indústria e Ambiente

Receba quinzenalmente, de forma gratuita, todas as novidades e eventos sobre Engenharia e Gestão do Ambiente.

Nome

Insira o seu email

SUBSCREVER NEWSLETTER

Ao subscrever a newsletter noticiosa, está também a aceitar receber um máximo de 6 newsletters publicitárias por ano. Esta é a forma de financiarmos este serviço.



Indústria e Ambiente | Revista de Informação Técnica e Científica de Engenharia e Gestão do Ambiente

Sobre a revista

Editora

Autores

Eventos

Siga-nos

Assinatura

Publicidade

Contactos

© 2016 - Engenho e Média

Engenho e Média, Lda - Rua de Santos Pousada, 441, sala 110, 4000-486 Porto | Portugal

Informação ao consumidor:

Cientes da Área Metropolitana do Porto Nos termos e para os efeitos da Lei 144/2015, de 8 de Setembro, todos os litígios emergentes dos contratos de compra e venda ou de prestação de serviços ou com ele relacionados serão definitivamente resolvidos de acordo com o Regulamento do Centro de Arbitragem do Porto, por um dos árbitros nomeados nos termos do Regulamento. Clientes fora da Área Metropolitana do Porto Em caso de litígio o consumidor pode recorrer a uma Entidade de Resolução Alternativa de Litígios de Consumo (RAL). Mais informações em www.consumidor.pt