



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Estudo comparativo dos sistemas de propulsão híbrido elétrico e elétrico puro num veículo automóvel utilitário de passageiros

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Automóvel

Autor

Simão de Jesus Rocha

Orientador

Professor Doutor Pedro de Figueiredo Vieira Carvalheira

Júri

Presidente Professor Doutor Amílcar Lopes Ramalho
Professor Associado da Universidade de Coimbra

Vogais Professor Doutor Ricardo António Lopes Mendes
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Coimbra, Setembro, 2012

“Escolhe um trabalho de que gostes, e não terás que trabalhar um dia na tua
vida.”

Confúcio.

Aos meus pais.

Agradecimentos

O trabalho que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento. As minhas palavras de apreço vão assim para os meus pais, que colaboraram e deram bastante apoio e incentivo durante todas as decisões da minha vida. A minha irmã que sempre foi o meu braço direito.

Ao Professor Doutor Pedro de Figueiredo Vieira Carvalheira, pela motivação na realização da Dissertação ao longo do curso.

Ao Gerente da Empresa Senda, Equipamentos em Aço Inoxidável, Lda., pela disponibilidade e apoio prestado durante a realização da especialização.

Aos meus amigos António Manuel Pato Vila Mateus e Carlos Miguel Gonçalves Ramos, pela sua amizade e total disponibilidade no percurso académico.

Resumo

A realização deste estudo, tem como objetivo a otimização de um sistema de propulsão híbrida ou elétrica, comparando a sua rentabilidade económica na implementação de um veículo automóvel.

Os dados do veículo automóvel utilizado no estudo foram de um Peugeot 206 com o motor de referência TU3JP-KFW de cilindrada 1361 cm³. O dimensionamento do mesmo já fora anteriormente estudado por [Pita, 2011], no âmbito da sua Dissertação de Mestrado, visando uma otimização do motor de combustão interna e da caixa de velocidades para uma utilização citadina.

Para tal, recorreu-se à simulação do ciclo de funcionamento das várias tipologias de sistema de propulsão utilizadas, através de um programa de simulação do ensaio NEDC (*New European Driving Cycle*) e UDC (*Urban Driving Cycle*). Contabilizando as variáveis envolvidas no estudo, o programa fornecia-nos resultados sobre o consumo de combustível do veículo, as emissões de dióxido de carbono do motor de combustão, energia elétrica consumida no regime de utilização do sistema de propulsão elétrico, autonomia do sistema de propulsão elétrico e custo do sistema de propulsão elétrico.

Como dispositivo de armazenamento de energia elétrica dos veículos híbridos elétricos e veículos elétricos puros, foram objeto de estudo três tipos diferentes de baterias, de cinco marcas distintas. As baterias em estudo, foram as baterias de LiFePO₄ das marcas A123, *Thunder Sky*, *Winston Battery*, as baterias de NiMH da marca *Uniross* e as baterias de chumbo da marca *Classic Enersol 100*.

Com a análise dos custos dos sistemas de armazenamento de energia elétrica, motor elétrico, conversor AC-DC e DC-AC, a autonomia elétrica do veículo e o custo por unidade de energia elétrica pretende-se aferir qual a opção de sistema de propulsão mais viável para o veículo, bem como identificar quais as variáveis que mais influenciam a autonomia e o custo do sistema.

Palavras-chave: Sistema de propulsão, Bateria, Elétrico, Híbrido, Desempenho, NEDC, Autonomia.

Abstract

This study, aims at the optimization of a hybrid or electrical propulsion system, comparing their cost-effectiveness in the implementation of a motor vehicle.

The vehicle's data used in the study were from a Peugeot 206, with the engine reference TU3JP – KFW of displacement volume 1361 cm³. The dimensions of this engine had been previously studied by [Pita, 2011], under his Master's Thesis, aimed at the optimization of internal combustion engine and gearbox for city use.

For the purpose of the thesis, we run the simulations of the driving cycle for different typologies of the propulsion system used, using simulation software simulating the NEDC (New European Driving Cycle) and the UDC (Urban Driving Cycle). Accounting for the variables involved in the study, the results provided us with data on the fuel consumption of the vehicle, carbon dioxide emissions from the combustion engine, electric energy consumed by the electric propulsion system used, autonomy of the electric propulsion system and cost of the electric propulsion system.

Three different types of batteries, of five diverse brands have been studied as storage device for electric energy for hybrid electric vehicles and pure electric vehicles. The batteries in study were LiFePO₄ batteries from brands A123 brands, Thunder Sky, Winston Battery, NiMH batteries from brand Uniross and lead batteries brand Classic Enersol 100.

With the analysis of the costs of the storage systems of electric energy, electric motor, converter AC-DC and DC-AC, the electric range of the vehicle, cost per unit of electric energy, it is intended to assess the most viable propulsion system option for the vehicle, as well as identify the variables that have a large influence on the vehicle autonomy and the system cost.

Keywords Propulsion system, Battery, Electric, Hybrid, Performance, NEDC, Range.

Índice

Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	x
Simbologia e Siglas	xi
Simbologia.....	xi
Siglas	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. DESENVOLVIMENTO.....	4
2.1. Veículos automóveis híbridos elétricos	4
2.1.1. Tipos de propulsores híbridos	4
2.1.2. Veículo híbrido em paralelo	5
2.1.3. Veículo híbrido em série.....	6
2.1.4. Veículo híbrido misto	7
2.1.5. Classificação de modos híbridos	8
2.1.6. Condições de operação de um veículo híbrido	10
2.1.7. Veículos híbridos existentes no mercado	14
2.2. Veículos automóveis elétricos	20
2.2.1. Baterias	20
2.2.2. Seleção de baterias.....	21
2.2.3. Tipos de baterias	22
2.2.4. Conjugação das características dos tipos de baterias	30
2.2.5. Veículos elétricos puros.....	31
3. CONDIÇÕES DE PROJETO	37
3.1. Seleção das baterias utilizadas no projeto.....	37
3.1.1. Bateria LiFePO ₄	42
3.1.2. Bateria de níquel hidretos metálicos.....	52
3.1.3. Bateria de chumbo	53
3.1.4. Carregador de bateria.....	53
4. FOLHA DE CÁLCULO DO PROJETO	55
4.1. Dados de entrada.....	58
4.2. Dados de saída	59
4.3. Equações do sistema de propulsão elétrico.....	60
4.3.1. Equações dos dados de saída das baterias	60
4.3.2. Equações dos dados de saída do motor elétrico	62
4.4. Motor elétrico selecionado para o projeto	63
4.5. Modelo do conversor AC-DC e DC-AC.....	66
5. ENSAIO DE BATERIAS E DESEMPENHO DO VEÍCULO	67
5.1. Ciclo de condução NEDC	67
5.2. Introdução dos dados de análise no programa	71
5.2.1. Folha de cálculo dos dados de saída.....	71

6. RESULTADOS OBTIDOS	75
6.1. Veículo elétrico puro	75
6.2. Veículo híbrido elétrico	94
7. CONCLUSÕES E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
ANEXO A	106
ANEXO B	107
ANEXO C	108
ANEXO D	109
ANEXO E	110
ANEXO F	111
ANEXO G	112
ANEXO H	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1. Evolução temporal da emissão específica de CO ₂ na produção de energia elétrica em Portugal [http://www.edp.pt/pt/sustentabilidade/ambiente/alteracoesclimaticas/emissoesatmosfericas/Pages/EmissoesAtmosfericas.aspx].	2
Fig. 2. Esquema de um veículo híbrido paralelo [http://vnevoa.wordpress.com/pardal/vhe1/].	5
Fig. 3. Esquema de um veículo híbrido em série [http://vnevoa.wordpress.com/pardal/vhe1/].	7
Fig. 4. Esquema de um veículo híbrido misto [http://vnevoa.wordpress.com/pardal/vhe1/].	8
Fig. 5. Veículo híbrido elétrico com sistema <i>plug-in</i> [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Toyota_Prius_Plug-In_Hybrid_IAA_2009.jpg].	14
Fig. 6. Representação do sistema de propulsão do Toyota Prius hybrid [http://sub.automotor.xl.pt/1109/1900.shtm].	15
Fig. 7. Toyota Yaris Hybrid [Catálogo de apresentação do Toyota Yaris, 2012].	16
Fig. 8. Sistema de gestão dos sistemas de propulsão [Catálogo de apresentação do Toyota Yaris, 2012].	17
Fig. 9. Chevrolet Volt [http://tecnologia.uol.com.br/album/ces2010_gadgets_album.htm].	18
Fig. 10. Identificação dos sistemas de propulsão e de combustão interna [http://www.tudocarros.com/conheca-o-sistema-de-propulsao-e-flex-da-gm/].	18
Fig. 11. <i>Peugeot</i> 508-RHX híbrido diesel [Catálogo de apresentação do <i>Peugeot</i> 508 RHX, 2012].	19
Fig. 12. Representação dos sistemas de propulsão do <i>Peugeot</i> 508 RHX [Catálogo <i>Peugeot</i> 508 RHX, 2012].	20
Fig. 13. Esquema geral de uma bateria [<i>Electric Vehicle Battery Systems</i> , 2002].	23
Fig. 14. Representação geral da descarga de uma bateria [<i>Electric Vehicle Battery Systems</i> , 2002].	23
Fig. 15. Representação da composição de uma bateria de chumbo.	25
Fig. 16. Bateria de lítio polímero [http://www.wikienergia.pt/~edp/index.php?title=Bateria_de_l%C3%ADtio-pol%C3%ADmero].	28
Fig. 17. Esquema de uma bateria de íões lítio [http://www.eco-aesc-lb.com/en/liion.html].	29

Fig. 18. Melhor combinação de densidade de potência, segurança e vida das baterias [<i>Lithium Iron Phosphate Cell Performance Evaluations for lunar Extravehicular Activities</i> , 2007].....	31
Fig. 19. Gama de veículos elétricos puros da <i>Renault</i> [http://www.renault.pt/gama/veiculos-eletricos/].....	32
Fig. 20. Renault Fluence elétrico [http://www.cockpitautomovel.com/2012/04/apresentacao-renault-fluence-ze.html].....	32
Fig. 21. Nissan Leaf, elétrico puro [http://www.dieselstation.com/cars/2010-nissan-leaf-a1951.html].....	33
Fig. 22. Smart Fortwo Electric Drive [http://www.autoplanet.cz/blog/smart-fortwo-electric-drive-skutecny-elektromobil-pro-zivot/].....	35
Fig. 23. Veeco RT [http://factorautomovel.blogspot.pt/2012/02/normal-0-21-false-false-false-pt-x-none.html].....	36
Fig. 24. Esquema do sistema de propulsão elétrico do Veeco RT [http://www.veeco.pt/veeco_012.htm].....	36
Fig. 25. Capacidade da bateria LiFePO ₄ a diferentes taxas de descarga, a uma temperatura de - 20°C [<i>Lithium Iron Phosphate Cell Performance Evaluations for Lunar Extravehicular Activities</i> , 2007].....	44
Fig. 26. Capacidade da bateria LiFePO ₄ a diferentes taxas de descarga, a uma temperatura de 20°C [<i>Lithium Iron Phosphate Cell Performance Evaluations for Lunar Extravehicular Activities</i> , 2007].....	44
Fig. 27. Capacidade da bateria A123 com uma corrente de descarga de 0,5C, com variação de temperatura [<i>Lithium Iron Phosphate Cell Performance Evaluations for Lunar Extravehicular Activities</i> , 2007].....	45
Fig. 28. Evolução da temperatura, da corrente e da tensão de uma bateria LiFePO ₄ , na descarga a 1C [www.zeva.com.au].....	47
Fig. 29. Evolução da temperatura, da corrente e da tensão de uma bateria LiFePO ₄ , na descarga a 5C [www.zeva.com.au].....	47
Fig. 30. Controlo da corrente a diferentes taxas de carga de uma bateria LiFePO ₄ a 20 °C [<i>Lithium Iron Phosphate Cell Performance Evaluations for Lunar Extravehicular Activities</i> , 2007].....	48
Fig. 31. Evolução da perda de capacidade de uma bateria de LiFePO ₄ , com o tempo e temperatura de armazenamento, para o estado de carga de 100% [<i>Development of battery packs for space applications</i> , 2007].....	50
Fig. 32. Evolução da perda de capacidade de uma bateria de LiFePO ₄ , com o tempo e temperatura de armazenamento, para o estado de carga de 50% [<i>Development of battery packs for space applications</i> , 2007].....	50
Fig. 33. Dados de entrada no programa de simulação numérica sobre o veículo automóvel em análise.....	55
Fig. 34. Dados do ciclo NEDC da simulação numérica.....	56

Fig. 35. Dados de saída do programa de simulação numérica, sobre consumo de combustível fóssil e emissões do veículo.....	56
Fig. 36. Dados da programação numérica sobre “Caraterísticas da bateria unitária” e “Caraterísticas da bateria”.....	57
Fig. 37. Dados do programa de simulação sobre as “Caraterísticas do motor elétrico”, “Caraterísticas do alternador” e “Caraterísticas do alternador AC-DC e DC-AC”.....	58
Fig. 38. Mapa de eficiência de um motor elétrico [<i>Larminie e Dicks</i> , 2003].....	65
Fig. 39. Motor de propulsão elétrico [http://factory.dhgate.com/motorcycle-motor/20kw-40kw-brushless-dc-motor-p43236809.html].....	66
Fig. 40. Conversor AC-DC e DC-AC modelo XSB-20K aplicado no sistema [http://portuguese.alibaba.com/product-gs/three-phase-20kw-output-solar-grid-tie-inverter-442580908.html].....	66
Fig. 41. Representação do acionamento do motor elétrico e de combustão interna durante o ciclo NEDC.....	70
Fig. 42. Evolução da força de travagem regenerativa com a distância no ciclo NEDC.....	70
Fig. 43. Folha do programa de análise de dados coletiva das baterias.....	72
Fig. 44. Evolução do custo por quilómetro e do custo do sistema de propulsão elétrico com a autonomia, aplicando a bateria A123 (1).....	75
Fig. 45. Evolução do custo por 100 quilómetros com a corrente de carga da bateria A123 (1).....	76
Fig. 46. Evolução do custo por 100 km com a autonomia e o custo da energia elétrica, para a bateria A123 (1).....	77
Fig. 47. Evolução do custo por quilómetro e do custo do sistema de propulsão elétrico com a autonomia, aplicando a bateria A123 (2).....	78
Fig. 48. Evolução do custo por 100 quilómetros com a corrente de carga da bateria A123 (2).....	79
Fig. 49. Evolução do custo por 100 km com a autonomia e o custo da energia elétrica, para a bateria A123 (2).....	80
Fig. 50. Evolução do custo por quilómetro e do custo do sistema de propulsão elétrico com a autonomia, aplicando a bateria <i>Thunder Sky</i>	81
Fig. 51. Evolução do custo por 100 quilómetros com a corrente de carga da bateria <i>Thunder Sky</i>	82
Fig. 52. Evolução do custo por 100 km com a autonomia e o custo da energia elétrica, para a bateria <i>Thunder Sky</i>	83
Fig. 53. Evolução do custo por quilómetro e do custo do sistema de propulsão elétrico com a autonomia, aplicando a bateria <i>Winston Battery</i>	84
Fig. 54. Evolução do custo por 100 quilómetros com a corrente de carga da bateria <i>Winston Battery</i>	85
Fig. 55. Evolução do custo por 100 km com a autonomia e o custo da energia elétrica, para a bateria <i>Winston Battery</i>	86

Fig. 56. Evolução do custo por quilómetro e do custo do sistema de propulsão elétrico com a autonomia, aplicando a bateria <i>Uniross 2700</i>	87
Fig. 57. Evolução do custo por 100 quilómetros com a corrente de carga da bateria <i>Uniross 2700</i>	88
Fig. 58. Evolução do custo por 100 km com a autonomia e o custo da energia elétrica, para a bateria <i>Uniross</i>	89
Fig. 59. Evolução do custo por quilómetro e do custo do sistema de propulsão elétrico com a autonomia, aplicando a bateria <i>Classic Enersol 100</i>	90
Fig. 60. Evolução do custo por 100 quilómetros com a corrente de carga da bateria <i>Classic Enersol 100</i>	91
Fig. 61. Evolução do custo por 100 km com a autonomia e o custo da energia elétrica, para a bateria <i>Classic Enersol 100</i>	92
Fig. 62. Custo mínimo por 100 km percorridos para cada tipo de bateria e custo de energia elétrica.	93
Fig. 63. Evolução da distância necessária percorrer para recuperar o investimento do SPE híbrido e análise do investimento no sistema SPE híbrido, com baterias <i>A123 (1)</i>	94
Fig. 64. Evolução da distância necessária para recuperar o investimento do SPE híbrido e análise do investimento no sistema SPE híbrido, com baterias <i>A123 (2)</i>	95
Fig. 65. Evolução da distância necessária para recuperar o investimento do SPE híbrido e análise do investimento no sistema SPE híbrido, com baterias <i>Thunder Sky</i>	96
Fig. 66. Evolução da distância necessária para recuperar o investimento do SPE híbrido e análise do investimento no sistema SPE híbrido, com baterias <i>Winston Battery</i> . ..	97
Fig. 67. Evolução da distância necessária para recuperar o investimento do SPE híbrido e análise do investimento no sistema SPE híbrido, com baterias <i>Uniross 2700</i>	98
Fig. 68. Evolução da distância necessária para recuperar o investimento do SPE híbrido e análise do investimento no sistema SPE híbrido, com baterias <i>Classic Enersol 100</i>	99

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Quadro comparativo das características das baterias de íons de lítio com diferentes óxidos no cátodo.....	27
Tabela 2. Comparação das características das baterias [Sistemas de Propulsão Alternativos-FCTUC, 2011].....	30
Tabela 3. Autonomia do Nissan Leaf de acordo com a variação de velocidade [http://es.wikipedia.org/wiki/Nissan_Leaf].....	34
Tabela 4. Características das baterias inicialmente selecionadas para estudo.	39
Tabela 5. Conjunto de baterias selecionadas para estudo.....	40
Tabela 6. Dados de variação de corrente e de corrente de carga e descarga do gráfico " <i>Cycle Life Performance, 100% DOD, Various Temperature</i> ".	43
Tabela 7. Dados da bateria A123.....	43
Tabela 8. Eficiência mínima de um motor elétrico classificado com a Classe 1 pelo regulamento Europeu [<i>Larminie e Dicks, 2003</i>].	64
Tabela 9. Características do motor elétrico aplicado no projeto em análise.	65
Tabela 10. Custo do combustível e da energia elétrica assumido nos cálculos.....	73
Tabela 11. Número de ciclos de carga e descarga assumido para os diferentes tipos de baterias utilizados.	73
Tabela 12. Dados sobre os melhores modos de operação de carga para cada modelo de bateria.	92
Tabela 13. Custo mínimo por 100 km percorridos para cada tipo de bateria e custo de energia elétrica.	93
Tabela 14. Distância mínima a percorrer para recuperar o investimento do SPE, carga a 5C para as baterias LiFePO ₄ , carga a 1C para bateria NimH e carga a 0,4C para bateria de chumbo.	99

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

c_p	Calor específico a pressão constante [J/kg·K].
$E_{\text{bat,teórico}}$	Energia teórica da bateria [J].
E_{reg}	Energia de regeneração [J].
E_T	Energia total [J].
$I_{\text{máx,carga}}$	Corrente máxima de carga [A].
$m_{\text{f,total}}$	Massa total de combustível [kg].
$n_{\text{máx.}}$	Velocidade de rotação máxima do motor [rpm].
$n_{\text{m.e.}}$	Velocidade de rotação do motor elétrico [rpm].
$n_{\text{nominal m.e.}}$	Velocidade de rotação nominal do motor elétrico [rpm].
P_b	Potência do motor [W].
$P_{\text{máx m.e.}}$	Potência máxima do motor elétrico [W].
$P_{\text{reg.máx das bat}}$	Potência de regeneração máxima nas baterias [W].
\dot{Q}	Potência calorífica gerada [W].
\dot{Q}_{diss}	Potência calorífica dissipada [W].
R_{int}	Resistência interna [Ω].
$T_{\text{b,máx}}$	Binário máximo do motor elétrico [N·m].
$T_{\text{b,m.e.}}$	Binário do motor elétrico [N·m].
T_P	Temperatura de uma célula da bateria [°C].
T_S	Temperatura da superfície [°C].
V_c	Tensão do carregador [V].
V_P	Tensão de uma célula da bateria [V].
$V_{\text{máx}}$	Tensão máxima [V].
$V_{\text{nom.}}$	Tensão nominal [V].
V_{ref}	Tensão de referência [V].
D	Diâmetro [m].

E	Energia [J].
h	Coeficiente de transferência de calor por convecção $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$.
I	Intensidade de corrente [A].
L	Comprimento [m].
m	Massa [kg].
V	Tensão [V].
v	Volume [L].
€	Unidade monetária.
$\eta_{\text{alt.}}$	Rendimento do alternador.
$\eta_{\text{bat.}}$	Rendimento da bateria.
$\eta_{\text{conv.}}$	Rendimento do conversor.
$\eta_{\text{máx.m.e.}}$	Rendimento máximo do motor elétrico.
$\eta_{\text{m.e.}}$	Rendimento do motor elétrico.
$\eta_{\text{trans.}}$	Rendimento da transmissão.
ρ_f	Massa volúmica do fluido [kg/m^3].

Siglas

AC – Corrente Alternada.

CdR – Coeficiente de deterioração do rendimento.

CE – Comunidade Europeia.

CEE – Comunidade Económica Europeia.

CSPE – Custo do sistema de propulsão elétrico.

DC – Corrente Contínua.

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica.

DOD – *Depth of Discharge*

EUDC – *Extra Urban Driving Cycle*.

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

FP – Força de propulsão.

HSD – *Hybrid System Driving*.

NASA – *National Aeronautics and Space Administration.*

NEDC – *New European Driving Cycle.*

Recup. Inv. – Recuperação do investimento.

SPE – Sistema de propulsão elétrica.

SPHE – Sistema de propulsão híbrido elétrico.

UDC – *Urban Driving Cycle.*

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos tempos, devido a um crescimento desenfreado da população mundial, de uma elevada industrialização do mundo, de um aumento do consumismo, o mundo tem atravessado por períodos cíclicos de sucessos e retrocessos. Ora os períodos de sucessos são propícios a investimento, por vezes descontrolado, e os períodos de retrocesso promovem o imaginário e o estudo de alternativas, até ao momento inexistentes, de forma a superar o momento de crise.

Desde que se iniciou a prospeção de combustíveis fósseis, não se fugiu à regra das sucessões de crise e auges de prospeção, razão pela qual se verifica uma crescente preocupação na pesquisa de energias alternativas e sustentáveis. A indústria automóvel, como um dos principais ramos produtivos, influente no nível de emissões de gases poluentes para a atmosfera, também surge como investigador de soluções viáveis à diminuição de emissões de veículos, conjugando com a diminuição do consumo de combustíveis fósseis. Com base nestas pesquisas surgem as aplicações da energia elétrica, hidrogénio, biocombustíveis, entre outros, mas quase todos os modelos apresentam uma questão pertinente, “Qual a otimização e rentabilização destas energias face aos combustíveis fósseis?”.

No caso que se estudou, optou-se pela aplicação de um sistema de propulsão elétrico, sendo um sistema de propulsão secundário no veículo híbrido elétrico ou sendo um sistema de propulsão principal, no veículo elétrico puro. Em ambos os casos, a autonomia que o sistema proporciona ao veículo, o custo que este representa na aplicação, a otimização para uma maior duração do sistema de armazenamento de energia elétrica, determinam a rentabilidade da aplicação de um sistema de propulsão elétrico. A energia elétrica, é bom recordar, que não é uma energia totalmente limpa, emitindo um nível baixo de emissões, que é gerada aquando da produção de energia elétrica por consumo de combustíveis fósseis nas centrais ou decorrente da produção de elementos construtivos essenciais ao sistema, mas sendo esse nível de emissões diminuto de acordo com o tempo de utilização do sistema no veículo. A Figura 1 apresenta a evolução temporal da emissão

específica de CO₂ na produção de energia elétrica, em [ton CO₂/MWh], no período de 2005 a 2009 e a ainda a estimativa para 2012 e 2020.

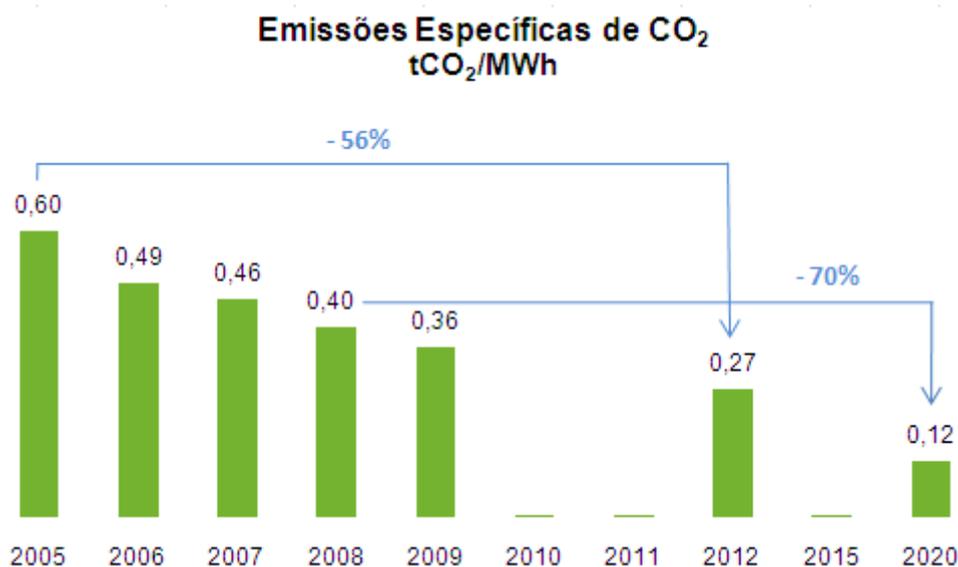


Fig.1. Evolução temporal da emissão específica de CO₂ na produção de energia elétrica em Portugal [<http://www.edp.pt/pt/sustentabilidade/ambiente/alteracoesclimaticas/emissoesatmosfericas/Pages/EmissoesAtmosfericas.aspx>].

Como anteriormente foi referido, qualquer que seja o tipo de sistema de propulsão utilizado num veículo, este necessita de um dispositivo de armazenamento, o que nos sistemas alternativos que atualmente tem vindo a ser desenvolvidos, surge como umas das grandes dificuldades. Atualmente tem-se verificado um largo estudo e investimento nos sistemas de armazenamento de energia elétrica, designados por bateria (estes sistemas já existem há muitos anos mas recentemente tem-se intensificado o seu estudo e desenvolvimento). Estes sistemas, através do processo químico de oxidação-redução dos materiais que o constituem, permitem o armazenamento de energia elétrica. Novos materiais têm vindo a ser aplicados nas baterias, materiais estes que aumentam a capacidade de armazenamento e diminuem a massa e as dimensões das baterias.

O estudo efetuado pretende aferir entre três tipos distintos de baterias, de cinco marcas diferentes, qual o melhor tipo de bateria a aplicar e quais as características essenciais na escolha das baterias, permitindo obter um menor custo total de operação, uma maior autonomia e durabilidade do sistema. Para se aferir quais os possíveis resultados obtidos

pelos diferentes tipos de baterias, recorreu-se a um programa desenvolvido por [Carvalheira, 2010], programa esse que permite obter resultados dimensionais de um veículo com motor de combustão interna, de um veículo híbrido elétrico e de um veículo puramente elétrico. Na opção de veículo híbrido elétrico, para o motor de combustão interna, foi utilizado um motor já estudado por [Pita, 2011], no âmbito da sua Dissertação de Mestrado, no qual otimizou o motor de combustão interna de referência TU3JP-KFW de cilindrada 1361 cm³ e a caixa de velocidades, para uma condução citadina, favorecendo os consumos e as emissões neste cenário em estudo. Ao se aplicar o motor elétrico de 19 kW e com um binário máximo de 230 N·m, pretende-se observar qual o melhor conjunto de baterias a aplicar no veículo, visando corresponder às condições de condução aplicadas no circuito NEDC e UDC. No caso do veículo híbrido elétrico, tem-se em conta os novos consumos e emissões que o motor de combustão interna apresenta e o custo do investimento no sistema de propulsão elétrica. No veículo puramente elétrico considera-se somente o custo da energia elétrica que este consome em relação à autonomia do veículo e o custo do investimento efetuado no sistema de propulsão elétrico.

Após a obtenção dos dados individuais para cada bateria, numa folha de cálculo, obtém-se a melhor solução, alternativa ou não, aos combustíveis fósseis, bem como o melhor modelo de utilização do sistema de propulsão elétrico, no caso da escolha deste sistema.

Em suma, o trabalho elaborado pretende responder a algumas questões, tais como a duração das baterias, o seu custo e se são realizáveis algumas propostas.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Veículos automóveis híbridos elétricos

Durante a década dos anos 90 começou-se a verificar a aplicação do conceito híbrido aos veículos automóveis. Nessa altura o conceito era algo de novo e intrigante quanto à sua fiabilidade, mas à medida que o tempo avançou até aos dias de hoje, a aplicabilidade das bases deste conceito, tem vindo a ganhar mais força, verificando um vasto leque de opções de mercado com esta tecnologia.

Ora, veículos híbridos são veículos que têm mais do que um único meio de propulsão. Num veículo híbrido, para os diferentes tipos de acionamento, as fontes de armazenamento de energia são distintas. Usualmente a designação de veículo híbrido refere-se à condição de combinação de um motor de combustão interna com um ou mais motores elétricos e a sua fonte de armazenamento de energia, para cada sistema de propulsão.

Em suma, o motor de combustão interna é acoplado a um gerador que permitirá carregar as baterias, sendo por vezes o motor elétrico e o gerador o mesmo elemento.

2.1.1. Tipos de propulsores híbridos

Os veículos híbridos podem ser divididos de acordo com os seus modelos de propulsão. Sendo assim, os veículos híbridos podem ser:

- Híbridos em paralelo;
- Híbridos em série;
- Híbridos mistos.

2.1.2. Veículo híbrido em paralelo

Num veículo híbrido elétrico em paralelo, a disposição dos componentes do sistema de propulsão, será executada de forma a puderem ser utilizados pelo motor de combustão interna ou pelo motor elétrico, independentemente, para mover o veículo. Com este modelo consegue-se um maior aproveitamento dos dois motores, colocando estes em funcionamento nos seus regimes de maior rendimento. Tendo este modelo a possibilidade de adicionar potência extra pelo acionamento de um dos motores desligados, permite efetuar um dimensionamento de motores de menores dimensões. Os componentes são dimensionados de acordo com o sistema que é solicitado maior número de vezes.

Como o motor elétrico é em simultâneo motor propulsor e gerador, só poderá efetuar uma destas operações individualmente, por ventura funcionar em simultâneo com o motor de combustão interna, mas não poderá efetuar o carregamento das baterias caso seja necessário.

Seguindo o esquema da Figura 2, o modelo de um veículo híbrido elétrico será a ligação entre o motor de combustão interna e o motor elétrico/gerador, pela cambota. Caso o motor elétrico esteja a funcionar como gerador, a energia elétrica produzida é transmitida para um conversor AC-DC/DC-AC de forma a armazenar a energia elétrica. Caso o motor elétrico esteja a transmitir binário para as rodas, a energia elétrica produzida será automaticamente consumida. Com o controlo do funcionamento dos motores, a adequação ao tipo de condução praticada, quer em ambiente urbano ou extra-urbano, o nível de emissões e consumo poderá diminuir consideravelmente [Bosch, 2005].

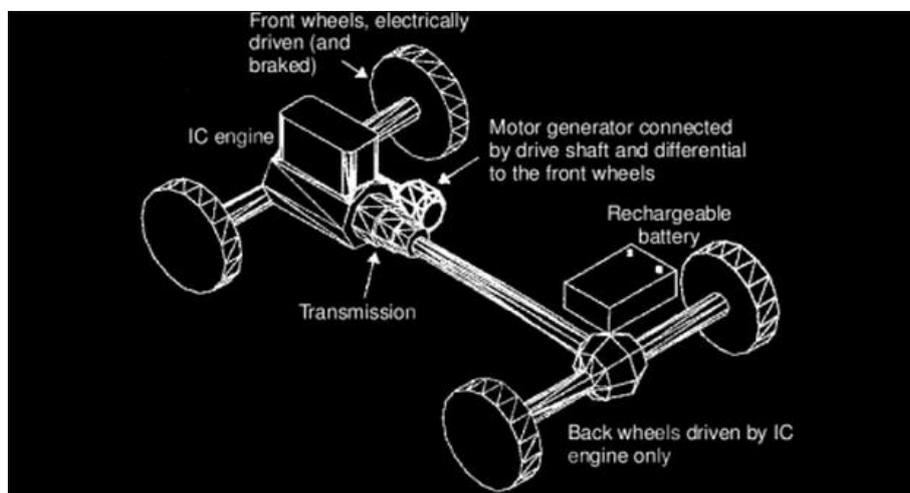


Fig. 2. Esquema de um veículo híbrido paralelo [<http://vnevoa.wordpress.com/pardal/vhe1/>].

2.1.3. Veículo híbrido em série

O conceito de veículo híbrido em série, Figura 3, surge devido à utilização de dois conversores de energia em série. Para tal, a estrutura do veículo híbrido elétrico requer a aplicação de dois motores elétricos e um motor de combustão interna. O motor de combustão interna converte a energia química proveniente do combustível. Por sua vez o motor de motor de combustão interna encontra-se associado através da cambota a um motor elétrico que converterá a energia mecânica em energia elétrica (sendo o gerador), transferindo a energia elétrica produzida a um conversor AC-DC /DC-AC. Caso a energia elétrica não seja para movimentar o veículo, esta será armazenada em baterias, caso a energia elétrica seja necessária para locomoção, será transferida para um motor elétrico que estará associado por um diferencial às rodas motrizes. Neste modelo ocorrerá uma gestão de energia por parte das baterias, permitindo controlar a longevidade das mesmas sem comprometer a funcionalidade do veículo.

Para uma maior funcionalidade de todo o sistema e independência do sistema, o motor de combustão interna poderá funcionar independente do sistema elétrico, conferindo maior eficiência a todo o sistema, pois, como é de conhecimento, o motor de combustão interna apresenta uma eficiência energética reduzida a baixas rotações, que vai aumentando à medida que as rotações aumentam. Por sua vez, os motores elétrico apresentam um regime de eficiência totalmente oposto, ou seja, a sua eficiência energética é superior a baixas rotações e vai diminuindo à medida que as rotações aumentam. Ora, conjugando os dois motores, consegue-se tirar partido do funcionamento nos regimes de maior eficiência de cada motor, efetuando um arranque ou deslocamento a baixas velocidades com o motor elétrico (como por exemplo em cidades), transitando para o funcionamento do motor de combustão interna quando a velocidade aumentar (por exemplo em autoestrada). Esta conjugação permite diminuir os consumos de combustível fóssil e consequentemente o nível de emissões do veículo.

Uma das grandes desvantagens deste modelo de propulsão, é o fato de se proceder a várias transformações de energia (química-elétrica, elétrica alterna-elétrica contínua, elétrica-mecânica, química- mecânica), o índice de perdas de energia devido a estas transições também irá aumentar, podendo chegar a níveis de 30% de perdas de energia [Bosch, 2005].

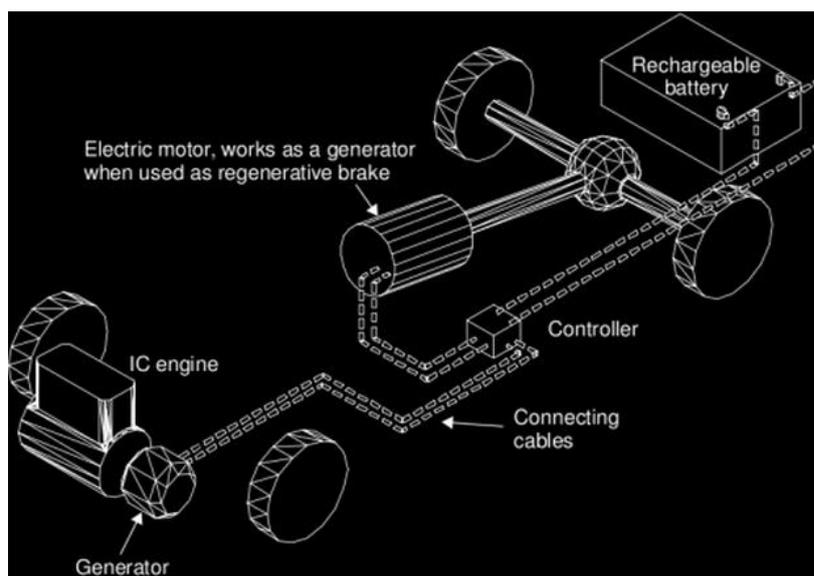


Fig. 3. Esquema de um veículo híbrido em série [<http://vnevoa.wordpress.com/pardal/vhe1/>].

2.1.4. Veículo híbrido misto

A geometria de um veículo híbrido misto, Figura 4, é a combinação das geometrias de veículos híbridos em série e de veículos híbridos em paralelo, tirando partido das melhores características que cada modelo proporciona. Contudo, a aplicação deste sistema de propulsão conjugada, não se torna simples.

Nesta geometria de veículo híbrido uma transmissão planetária, que permite redistribuir a potência gerada pelo motor de combustão interna, ou seja, parte da potência gerada poderá ser transmitida para as rodas, outra parte poderá ser transmitida a um gerador, produzindo energia elétrica que poderá ser armazenada em baterias ou consumida por um motor elétrico para propulsão do veículo.

A utilização dos dois sistemas de propulsão poderá ser executada individualmente ou em conjugação. Dependendo da carga a que o sistema global esteja sujeito, o acionamento de um, de outro ou de ambos os sistemas, será efetuado. Quando a energia produzida pelo motor de combustão interna for excessiva, esta poderá ser encaminhada para um gerador e ser armazenada sob forma de energia elétrica. Desta forma, auxiliando o motor de combustão interna com o motor elétrico, o nível de emissões e de consumo de combustíveis fósseis diminuirá.

Em regimes de baixas velocidades, como o caso de circulação em cidade, tendo o motor elétrico maior eficiência nestes regimes, será adequada a sua utilização em deslocamentos, poupando o funcionamento do motor de combustão interna em regimes de baixa eficiência [Bosch, 2005].

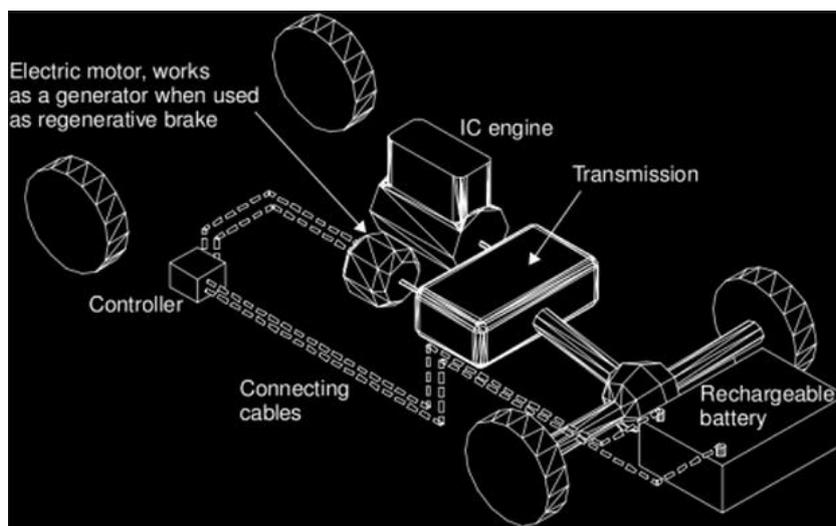


Fig. 4. Esquema de um veículo híbrido misto [<http://vnevoa.wordpress.com/pardal/vhe1/>].

2.1.5. Classificação de modos híbridos

Os veículos híbridos poderão classificar-se de acordo com o seu “grau” de aplicação híbrida. Os principais conceitos híbridos são designados por sistemas *start/stop*, travagem regenerativa, suporte por motor elétrico e condução puramente elétrica. A conceção e a carga fiscal aplicada a estes tipos de veículos e conceito, assim como a variação económica dos combustíveis fósseis, variam consideravelmente de acordo com o tipo de geometria híbrida aplicada ao veículo, ou seja, se é uma geometria em série, paralelo ou mista.

A distinção da classificação efetuada aos modelos híbridos aplicados, poderá realizar-se de acordo com os tipos de motores elétricos e motores de combustão interna aplicados e combinados nas geometrias. Não existe nenhum critério em especial que distinga o método de classificação dos veículos, tomando por “norma” o método operacional aplicado no sistema do veículo ou do tipo de fluxo de energia. Na maior parte das vezes as classificações dos veículos híbridos são realizadas pelos fabricantes.

2.1.5.1.1. Veículo micro híbrido

As principais iniciativas para a criação de um veículo híbrido, é a iniciação por um veículo micro híbrido de arranque/alternador com um sistema *start/stop*.

Neste modelo, o arranque do motor e o alternador são substituídos por um elemento elétrico. Quando o veículo efetua a paragem, o motor de combustão interna desliga-se. Para se proceder ao arranque, o elemento elétrico eleva a rotação para a execução da marcha lenta por parte do veículo, que por sua vez efetua a ativação da ignição.

Num sistema deste género, o armazenamento de energia não necessita de ser de grandes dimensões, simplesmente necessita de energia para colocar em funcionamento o sistema elétrico. Na sua maioria a energia elétrica provém da travagem efetuada pelo veículo, designando-se por travagem regenerativa. Este é um bom modelo a aplicar em veículos citadinos, onde o número de travagens e a constante velocidade reduzida, bem como o tempo em que o veículo se encontra parado, permite armazenar energia para proceder ao acionamento do sistema *start/stop* [Bosch, 2005].

2.1.5.1.2. Veículo híbrido médio

Este é um sistema que funciona combinando o funcionamento do sistema *start/stop* aplicado nos veículos micro híbridos, suportando o motor de combustão interna com um motor elétrico que permite efetuar e auxiliar o arranque e aceleração do veículo. A captação de energia é efetuada através da travagem regenerativa. Nesta classificação de veículo híbrido, o motor elétrico deverá apresentar uma potência superior a 20 kW, permitindo propulsionar o veículo a baixas velocidades sem que seja necessário o funcionamento do motor de combustão interna [Bosch, 2005].

2.1.5.1.3. Veículo híbrido forte

Nesta classificação de veículo híbrido, permite efetuar uma condução puramente elétrica, o que significada que se encontra provida de emissões, sendo adequado

o seu funcionamento em ambiente urbano ou regimes de baixas velocidades. O nível de potência de saída é ligeiramente superior ao dos veículos híbridos médios e bastante superior aos pequenos veículos híbridos, podendo ser aplicados motores elétricos com potências que poderão variar dos 50 kW até 200 kW. A utilização deste modelo híbrido não se cinge unicamente a baixas velocidades, como se verifica nos híbridos médios, mas também se poderá utilizar no modo de condução elétrica em velocidades mais elevadas, contudo essa utilização é limitada a pequenos percursos em circulação a elevadas velocidades.

A aplicação de um sistema híbrido forte necessita de um maior investimento que qualquer outro tipo de sistema híbrido, pois serão necessários componentes que suportem correntes e voltagens elevadas, adição de componentes complementares ao sistema elétrico de forma a transmitir a energia mecânica do sistema às rodas [Bosch, 2005].

2.1.6. Condições de operação de um veículo híbrido

Num sistema de controlo de um veículo híbrido, as variáveis que influenciam o controlo e consumo de energia, são precisamente a posição do pedal do acelerador, da posição do pedal de travão a velocidade do veículo e o estado de carga das baterias. Estas variáveis permitem controlar a propulsão do veículo, controlar a quantidade de energia a armazenar proveniente da travagem regenerativa, as condições e capacidade das baterias controlam a quantidade de energia disponível a ser utilizada à propulsão bem como a quantidade de energia a ser armazenada (capacidade de carga das baterias). A capacidade de carga das baterias é uma das variáveis mais importantes do sistema de propulsão elétrico, tendo as baterias como principais variáveis influenciáveis, a temperatura de funcionamento, que por sua vez influencia a capacidade de carga e descarga, bem como a acumulação de energia.

Atendendo dos modelos construtivos já referidos anteriormente (veículo híbrido em série, paralelo ou misto), poder-se-á optar por diferentes modos de operação poderão ser aplicados, por forma a melhorar as características dos veículos híbridos.

Todos os modelos de veículos híbridos aplicados têm como conceito geral, tanto quanto possível, a diminuição do ruído, diminuição das emissões de gases de escape e do consumo de combustíveis fósseis. As estratégias de modos de operação aplicadas aos modelos de veículos híbridos passam pela aplicação de sistema *start/stop*, condução elétrica, impulsionamento, carregamento e modo *plug-in*.

2.1.6.1. Start/Stop

O conceito *start/stop* não é um conceito que atualmente se aplica exclusivamente aos veículos híbridos. Carros convencionais, dos quais têm como principal função uma utilização citadina, já incorporam este modo de operação no seu sistema. O sistema *start/stop* não se pode afirmar como um modelo unicamente de um veículo híbrido.

Este modo de operação incide no fato do motor de combustão interna se desligue nos períodos de muito baixa velocidade ou mesmo parado, diminuindo o nível de emissões de gases de combustão, diminuindo o nível de ruído produzido. Este modo de operação tem especial impacto sobretudo no tráfico urbano. A combinação do método *start/stop* não é essencial conciliar com componentes ou sistemas híbridos, mas é aconselhado, pois pode-se atingir melhorias consideráveis no que diz respeito a emissões e consumos. Conciliando este sistema com um bom dimensionamento do motor de propulsão elétrico, bem como o funcionamento de ambos os motores nas suas velocidades nominais, permite melhorar o rendimento do sistema, visto os motores funcionarem nos seus regimes favoráveis [Bosch, 2005].

2.1.6.2. Condução elétrica

Tal como o sistema *start/stop*, o modo de condução elétrico tem por objetivo a redução de emissões e de ruído. Dependendo da forma como foi dimensionado o sistema (dimensão do motor de propulsão elétrico, autonomia das baterias), durante a condução, o motor de combustão interna poderá desligar-se, mantendo unicamente em funcionamento o motor de propulsão elétrico. Todo o sistema gere o funcionamento de cada motor propulsor, e de acordo com o estado de carga das baterias bem como a potência que está a

ser requerida por parte do veículo, permite em alguns casos desligar automaticamente o motor de combustão interna. Em regimes de baixa velocidade pode-se optar por este modo de condução, visto o motor de combustão interna apresentar uma baixa eficiência a baixas rotações, atingindo-se valores de emissões mais baixos [Bosch, 2005].

2.1.6.3. Impulsão

A aplicação nos veículos híbridos elétricos, do termo impulso refere-se ao fato do motor elétrico assistir/impulsionar durante um curto espaço de tempo, o motor de combustão interna. Desta forma, a combinação do funcionamento dos dois motores, torna-se vantajosa, permitindo a aplicação do seu funcionamento nos seus regimes de maior rendimento. O motor elétrico efetua o equilíbrio de binário do motor de combustão interna, tipicamente em baixas velocidades. Da mesma maneira, a energia elétrica consumida na aceleração pelo motor elétrico, poderá ser recuperada, (não na totalidade, mas em grande parte) ao se proceder à travagem do veículo (através da travagem regenerativa). A combinação deste sistema é ideal para uma aplicação citadina, onde ocorrem paragens consecutivas, precedente de acelerações.

Todo este funcionamento, terá um sistema de gestão de todo o sistema elétrico, o que permitirá somente o funcionamento do motor elétrico de acordo com o estado em que se encontra a unidade de baterias do veículo [Bosch, 2005].

2.1.6.4. Carregamento

Todas as variáveis de funcionamento de um sistema elétrico de um veículo híbrido elétrico, são diretamente influenciadas pelo estado de carregamento das baterias. A informação de funcionamento de todo o sistema elétrico do veículo, encontra-se previamente definida, sendo uma unidade de controlo de todo o sistema a geri-lo. Toda a informação é processada, controlando o sistema a operar no momento exato. Por exemplo, caso a carga das baterias se encontre num nível baixo, o modo de impulsionamento do motor elétrico não será ativado. Para uma maior longevidade das baterias, o sistema de controlo da parte elétrica do veículo, somente ativará o motor elétrico quando as baterias

apresentam um nível de carregamento em relação à sua capacidade máxima, de 70% a 30% chegando alguns sistemas a laborarem em regimes de 80% a 20% da sua capacidade máxima, não permitindo que se efetue uma carga ou descarga completa das baterias. De acordo com o nível de carga que as baterias apresentam, se necessário, estas dispensam parte da energia para ativar o sistema de regeneração.

No caso do sistema híbrido misto, com a combinação do motor elétrico, alternador e motor de combustão interna, combinando as suas velocidades de funcionamento através da engrenagem planetária, permite ao motor de combustão interna ter uma maior eficiência no seu regime de funcionamento e permite ao mesmo tempo proceder ao carregamento pelo alternador. Ao se colocar o motor de combustão interna num funcionamento de maior eficiência, permite a todo o sistema apresentar uma maior rentabilidade [Bosch, 2005].

2.1.6.5. Plug-in

No modo *plug-in*, o veículo híbrido elétrico permite obter mais do que as duas formas de carregamento já mencionadas, que até ao momento era executado pela combustão de combustíveis fósseis por parte do motor de combustão interna, ou obtinha-se através da travagem regenerativa. O veículo híbrido *plug-in* (Figura 5) permite proceder aos carregamentos de baterias através de uma tomada ou fontes de energia elétrica disponível. Este circuito poderá ser independente do sistema de propulsão elétrico, tendo uma aplicação de fonte de armazenamento independente, permitindo aumentar a autonomia do veículo.

De acordo com o tipo de baterias que constituem o veículo híbrido, o carregamento das baterias poderá efetuar-se de uma forma mais rápida, chegando a ter tempos de carregamento de 1h30min, como no caso do veículo Toyota Prius Plug-in [Bosch, 2005].



Fig. 5. Veículo híbrido elétrico com sistema *plug-in* [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Toyota_Prius_Plug-In_Hybrid_IAA_2009.jpg].

2.1.7. Veículos híbridos existentes no mercado

Ao longo dos tempos a uniformização da informação por parte dos fabricantes de automóveis e os conceitos introduzidos por cada marca, tem vindo a intensificar-se. Praticamente, todas as marcas apresentam na sua gama de viaturas, uma viatura designada de verde, ou seja, onde o nível de emissões e de consumo por parte do veículo é mais reduzida em relação ao mesmo veículo somente com um motor de combustão interna para propulsionar.

Inicialmente, aquando a introdução do conceito de veículo híbrido elétrico, somente surgiram veículos onde o motor de combustão interna era apenas a gasolina. Hoje em dia, com os estudos efetuados pelas marcas surgiram novos híbridos também com motores de combustão interna a diesel.

Seguidamente apresento algum dos veículos híbridos atualmente disponíveis no mercado, de várias marcas, tais como Toyota, Chevrolet, Honda verificando-se uma vasta gama de produtos ao dispor do cliente.

2.1.7.1. Toyota

A marca japonesa Toyota surgiu como uma das marcas pioneiras na aplicação do conceito de veículo híbrido elétrico. A marca surgiu com várias designações de operação dos seus sistemas. Atualmente no nosso mercado, existem três modelos da marca

nipónica, o Toyota Prius, o Toyota Yaris Hybrid e o Toyota Auris Hybrid. Em ambos os casos a tecnologia aplicada é a tecnologia HSD da Toyota (*Hybrid System Driving*).

2.1.7.1.1. Toyota Prius

O modelo Prius da Toyota (Figura 6) apresenta duas fontes de energia para mover a viatura, sendo o motor de combustão interna um motor de 1,8 litros a gasolina produzindo uma potência máxima de 73 kW às 5200 rpm, com um binário máximo de 142 N·m às 4000 rpm. O motor elétrico que equipa o sistema do Toyota Prius, é um motor síncrono de magneto permanente, de tensão máxima de 650 V, debitando uma potência máxima de 60 kW e um binário máximo de 207 N·m [Catálogo de apresentação do Toyota Prius, 2012].

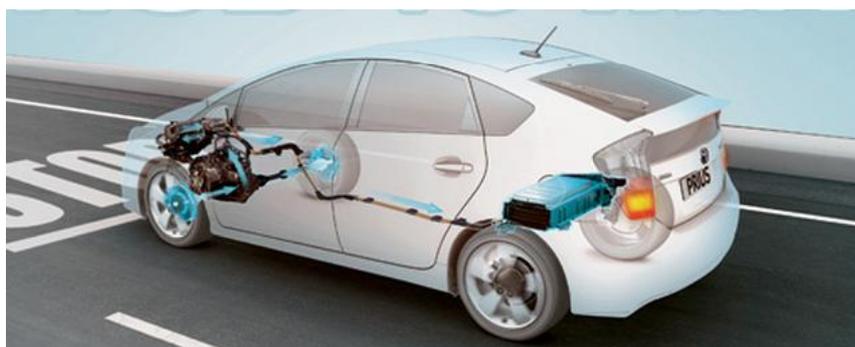


Fig. 6. Representação do sistema de propulsão do Toyota Prius hybrid
[<http://sub.automotor.xl.pt/1109/1900.shtm>].

O esquema anterior representa o sistema de propulsão aplicado no Toyota Prius. Este é um modelo de veículo híbrido misto. Como foi referido anteriormente no tópico sobre veículos híbridos mistos, o motor de combustão interna propulsiona as rodas motrizes quando solicitado. A energia excedente, proveniente do motor de combustão interna poderá ser convertida em energia elétrica, ou mesmo se o veículo for solicitado, poderá o motor elétrico entrar em funcionamento e auxiliar a propulsão do veículo. O motor de combustão interna poderá também ser desligado, se assim a condução o permitir.

2.1.7.1.2. Toyota Yaris

No segmento B dos veículos motorizados, a Toyota também efetuou a sua aposta ao lançar o modelo Toyota Yaris Hybrid (Figura 7). Este veículo apresenta a mesma tecnologia que o Toyota Prius Hybrid, tecnologia HSD, mas com motorizações ligeiramente reduzidas, visto também o veículo ser de menores dimensões.

Ora esta viatura apresenta um motor de combustão interna de 1,5 litros a gasolina, produzindo uma potência máxima de 74 kW às 4800 rpm e com um binário máximo de 111 N·m numa gama de rotações entre 3600 rpm e as 4400 rpm. Já o motor de propulsão elétrico é um motor síncrono de magnetos permanentes, de voltagem máxima de 520 V, debitando uma potência máxima de 45 kW e com um binário máximo de 169 N·m [Catálogo de apresentação do Toyota Yaris, 2012].



Fig. 7. Toyota Yaris Hybrid [Catálogo de apresentação do Toyota Yaris, 2012].

No que diz respeito ao modo de funcionamento, opera do mesmo modo do Toyota Prius. Como se pode ver pela imagem (Figura 8), praticamente todos os veículos híbridos elétricos, apresenta um monitor que visa monitorizar de melhor forma o funcionamento de todo o sistema de propulsão.



Fig. 8. Sistema de gestão dos sistemas de propulsão [Catálogo de apresentação do Toyota Yaris, 2012].

2.1.7.2. Chevrolet Volt

Na ribalta dos veículos híbridos, surgiu mais recentemente a marca americana com o modelo Chevrolet Volt (Figura 9), que se apresenta com um motor de combustão interna de 1,4 litros a gasolina que debita uma potência máxima de 63 kW à 4800 rpm, com um binário máximo de 130 N·m às 4250 rpm. O motor de propulsão elétrico é um motor que debita uma potência de 111 kW e tem um binário máximo de 370 N·m. Este veículo é um que permite ter uma locomoção até 80 km em regime puramente elétrico, acionando posteriormente um extensor de energia (motor de combustão interna). Num funcionamento comum, com uma gestão eficiente dos dois motores propulsores, o seu fabricante garante um consumo de 1,2 litros de gasolina emitindo 27 g/km de dióxido de carbono para a atmosfera [Catálogo de apresentação do Chevrolet Volt, 2012].



Fig. 9. Chevrolet Volt [http://tecnologia.uol.com.br/album/ces2010_gadgets_album.htm].

Na Figura 10 encontra-se representado o esquema da disposição dos componentes na plataforma do veículo.

Este pode-se considerar um veículo com modo de operação *plug-in*, pois permite efetuar o carregamento das baterias através de uma fonte exterior ao veículo, não sendo o motor de combustão interna ou a travagem regenerativa. O carregamento das baterias em modo *plug-in*, de acordo com o fabricante deste modelo, poderá ser efetuado num período de 4 horas caso este seja efetuado numa estação de carregamento, ou poderá ser efetuado através de uma tomada normal de 230 V, demorando um período de aproximadamente 6 horas.

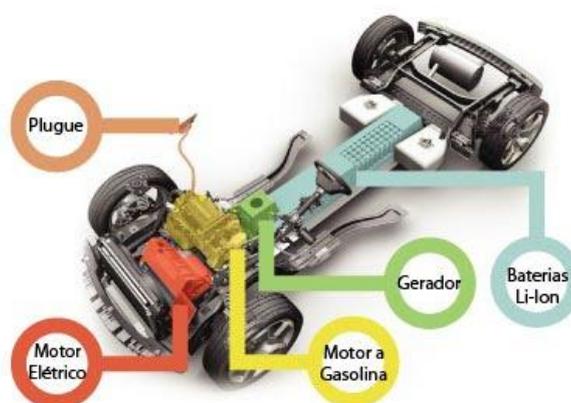


Fig. 10. Identificação dos sistemas de propulsão e de combustão interna [<http://www.tudocarros.com/conheca-o-sistema-de-propulsao-e-flex-da-gm/>].

2.1.7.3. Peugeot 508 RHX

O conceito de veículo híbrido já à algum tempo que tem sido sujeito a tentativas de aplicação a veículos com um motor de combustão interna a diesel.

O caso mais recente de aplicação, é o novo Peugeot 508 RHX (Figura 11) que é alimentado por um motor de combustão interna a diesel. Este apresenta um motor de combustão interna de 2,0 litros, que debita 120 kW às 3850 rpm e com um binário máximo de 300 N·m à 1750 rpm.



Fig. 11. Peugeot 508-RHX híbrido diesel [Catálogo de apresentação do Peugeot 508 RHX, 2012].

O motor de propulsão elétrico, Figura 12, é um motor síncrono de íman permanente que tem uma potência de 20 kW e debita 200 N.m às 1290 rpm.

Com esta performance, a versão Peugeot 508 RHX face à versão Peugeot 508 SW, permite diminuir o nível de emissões de 145 g de dióxido de carbono por km, para 107 g de dióxido de carbono por km. No que diz respeito aos consumos, permite reduzir o consumo de 6.3 l/100km para 4.1 l/100 km [Autofoco nº624, 2012].



Fig. 12. Representação dos sistemas de propulsão do *Peugeot 508 RHX* [Catálogo *Peugeot 508 RHX*, 2012].

2.2. Veículos automóveis elétricos

2.2.1. Baterias

Após abordar os tipos de veículos híbridos existentes, os modos de funcionamento dos mesmos, as vantagens e desvantagens que destes advém, pode-se verificar que este modelo de veículo é a junção de dois modos de condução, a condução somente com motor de combustão interna como propulsor e o modo de condução puramente elétrico. Ora em ambos os casos é necessário conter no sistema um modo de armazenamento de energia, seja ela de que tipo for. Desta forma, nos veículos com motor de combustão interna verifica-se um tanque que permite armazenar o combustível (energia química) e no veículo elétrico é necessário um conjunto de baterias que permita armazenar energia elétrica.

Ao contrário do tanque de combustível, as baterias são um elemento constituinte bem mais complexo no seu modo construtivo e aplicativo. Para se poder aplicar um conjunto de baterias, foram necessários vários estudos visando aumentar a densidade de potência das baterias, adequada ao dimensionamento do veículo.

A adequação do modo de armazenamento de energia surgiu de acordo com as necessidades que os projetos iam aparecendo, quer de veículos híbridos ou veículos elétricos. Os tipos de baterias ou armazenadores de energia que surgiram foram os supercondensadores, os ultracondensadores, as baterias de íons lítio, as baterias de lítio óxido-fosfato de ferro, as baterias de níquel-hidretos metálicos, (estes tipos como sendo as

mais utilizadas no dimensionamento de veículos híbridos e elétricos) e ainda surgiram as baterias de chumbo e as baterias de níquel cádmio.

Atualmente as baterias de níquel hidretos metálicos, as baterias de lítio óxido fosfato de ferro e as baterias de lítio polímero, são o tipo de baterias utilizadas na construção de veículos puramente elétrico e de veículos híbridos elétricos. Nos veículos híbridos mais simples (os que utilizam sistema *start/stop*), também se utilizam os supercondensadores, pois a energia específica e potência específica destes é bastante superior a qualquer outro tipo de bateria, permitindo recuperar uma grande quantidade de energia proveniente da travagem regenerativa e o seu peso específico é bem mais reduzido em relação às baterias, não sendo necessário uma grande massa de supercondensadores para armazenar uma grande quantidade de energia elétrica.

Os estudos acerca de baterias, indicam que a massa das baterias tende a diminuir e a sua potência específica e energia específica tendem a aumentar, maior durabilidade das baterias, sendo critérios essenciais durante o dimensionamento de um veículo. Não obstante a outros critérios, as questões ambientais são igualmente importantes, os custos dos elementos das baterias, são critérios a ter em conta igualmente no dimensionamento.

2.2.2. Seleção de baterias

- Massa das baterias;
- Ciclos de vida em funcionamento;
- Pico de potência de saída;
- Capacidade de carga;
- Rendimento energético;
- Custos;
- Compatibilidade ambiental.

O requisito de potência de saída do motor elétrico determina o pico de potência a que as baterias estarão sujeitas. A sua capacidade de armazenamento terá que ir de encontro aos requisitos estabelecidos para o funcionamento do sistema de controlo do veículo. Quando se executa o dimensionamento terá que se ter em conta as condições de

funcionamento das baterias, ou seja, temperatura de funcionamento (carga e descarga), pois é necessário proceder-se ao arrefecimento necessário ao funcionamento dentro da gama de temperatura de trabalho. Para uma melhor gestão, é necessário colocar uma unidade de controlo monitorizada, que permite controlar os valores de temperatura, voltagem, potência que as baterias estão a ser sujeitas, permitindo efetuar correções, mantendo o funcionamento das mesmas dentro dos intervalos de trabalho permitidos.

Uma das variáveis bastante importante e que deve constantemente ser monitorizada é o estado de carga das baterias, quer seja num veículo de propulsão elétrica ou híbrida elétrica, pois especifica a quantidade de energia que poderá ser utilizada para propulsionar o veículo com o modo elétrico. Por forma a assegurar uma maior longevidade da vida das baterias, o estado de carga das baterias dever-se-á encontrar entre 30% e 70% dos parâmetros máximos da bateria.

Um outro critério importante é a segurança na manipulação de elementos deste género, que trabalham com voltagens elevadas, não afetem o veículo nem os passageiros, em caso de colisão e assistência dos mesmos. Durante a instalação e montagem da viatura, também se deverá ter em conta este critério, visando proteger os trabalhadores, visto que se trabalha com voltagens que poderão chegar aos 650 V [Bosch, 2005].

2.2.3. Tipos de baterias

As baterias de um modo generalizado apresentam uma estrutura idêntica à da Figura 13. É composto por dois elétrodos, um positivo e um negativo, uma ponte salina que restabelece o número de eletrões nos elétrodos quando ocorre o processo de oxidação-redução para formação de corrente elétrica.

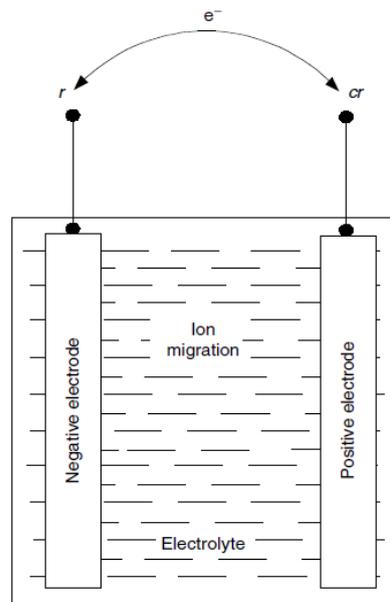


Fig. 13. Esquema geral de uma bateria [*Electric Vehicle Battery Systems, 2002*].

Quando o circuito se encontra fechado, o processo químico de transformação de energia química em energia elétrica inicia-se, tendo as baterias aproximadamente o seguinte processo de descarga, Figura 14.

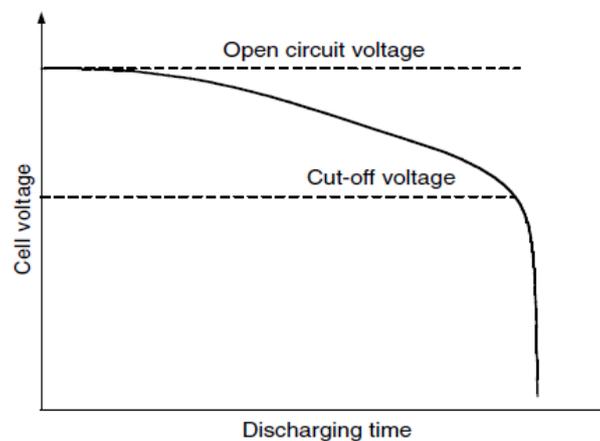


Fig. 14. Representação geral da descarga de uma bateria [*Electric Vehicle Battery Systems, 2002*].

Quanto maior for a corrente solicitada à bateria, o declive decrescente da descarga acentuar-se-á.

2.2.3.1. Bateria de chumbo

A bateria de chumbo (Figura 15) é um produto de sucesso comercial há mais de um século e ainda apresenta um papel bastante importante na indústria automóvel. Tem como principais vantagens o baixo custo, uma tecnologia sólida e dominada, uma potência relativa alta e um número de ciclos de vida bastante aceitável. Tendo uma potência relativa elevada, poder-se-á dizer que terá uma boa aplicabilidade nos veículos híbridos elétricos e nos veículos elétricos. Contudo a sua elevada massa não permite efetuar essa aplicação. Os materiais aplicados na construção da bateria são de baixo custo, quando comparados com os materiais aplicados em baterias mais complexas.

As baterias de chumbo também apresentam desvantagens, sendo uma delas a baixa densidade de energia, principalmente pela elevada massa que estas possuem. Quando a temperatura desce abaixo dos 10 °C, a potência específica e a densidade específica também baixam, limitando a sua utilização em veículos em climas frios.

A presença de ácido sulfúrico é um risco de segurança, especialmente para os passageiros. Estas baterias durante o processo de transformação química, produzem hidrogénio, sendo este altamente inflamável, mesmo sendo em pequenas quantidades. Para evitar problemas a nível de segurança deve-se proceder a um bom isolamento da bateria, provocando muitas vezes o inchaço do invólucro das baterias. Ainda dentro da perigosidade das baterias de chumbo, o chumbo é um metal pesado e de elevado nível de toxicidade, sendo necessário precauções extras na produção e manuseamento das baterias em caso de acidente, podendo estas apresentar fissuras na sua estrutura.

Apesar de ser uma bateria utilizada há bastante tempo, ocorrem permanentes estudos, visando melhorar as capacidades de carga, de aumentar a potência específica e a energia específica [Dhameja, 2002].

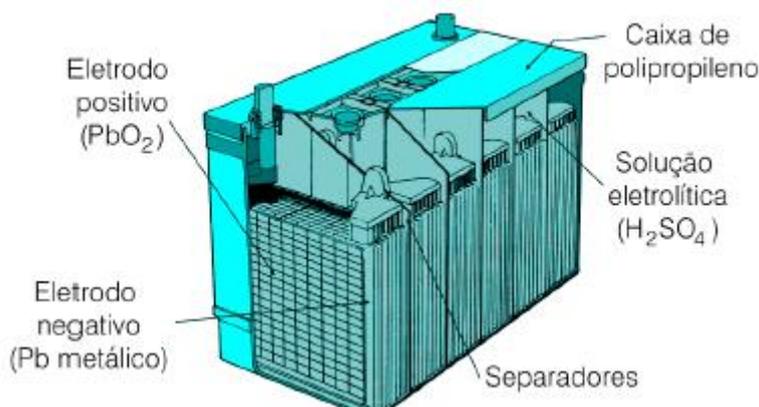


Fig. 15. Representação da composição de uma bateria de chumbo.

2.2.3.2. Baterias níquel cádmio

A bateria de níquel cádmio é composta por um eletrodo positivo de hidróxi-óxido, um eletrodo negativo de ferro metálico em combinação com cádmio metálico e como eletrólito uma solução concentrada de hidróxido de potássio e hidróxido de lítio.

A bateria de níquel cádmio tem vindo a sofrer melhorias, devido apresentar valores de potência específica elevados (a rondar os 300 W/kg) e um número de ciclos de vida a rondar os 2000 ciclos, suporta picos de carga e descarga elevados, tem uma capacidade de carga de 40% a 80% de energia em 18 minutos, tem uma taxa de auto descarga baixa (a rondar os 0,5% da energia por dia), apresenta uma gama de temperatura de funcionamento entre os 40 °C e 85 °C e a gama de dimensões disponíveis é bastante vasta.

Contudo, este género de baterias apresenta um custo elevado, a tensão produzida pela célula é baixa e a perigosidade do cádmio, sendo um elemento tóxico e cancerígeno.

2.2.3.3. Bateria de níquel hidretos metálicos

Esta é uma bateria recente a nível de produção, que surgiu com o objetivo de contornar a perigosidade da bateria de níquel cádmio. As características de ambas as baterias são bastante idênticas, tendo como principal diferença a absorção de hidrogénio num hidreto metálico utilizado como eletrodo negativo em vez de cádmio. Devido à sua

capacidade de apresentar uma energia específica superior à bateria de níquel cádmio, assim com diminui os riscos por ela causada, a bateria de níquel-hidretos metálicos é a substituição da bateria de níquel cádmio.

Quando a bateria é descarregada o hidreto metálico do eletrodo negativo é oxidado formando uma liga metálica e o oxi-hidróxido de níquel que se encontra no eletrodo positivo é reduzido formando hidróxido de níquel. Quando se processa o carregamento, a reação inversa é realizada.

O ponto importante para o funcionamento da bateria de níquel-hidretos metálicos, é a formação de uma liga de metal com hidrogénio, que torna o material estável durante um grande número de ciclos. Existem dois tipos de ligas metálicas a serem utilizadas, sendo uma constituída por lantânio níquel e a outra constituída por titânio e zircónio (esta a mais utilizada).

Esta é um tipo de bateria que apresenta um custo um pouco elevados, mas devido ao nível de segurança que apresenta, muitas das vezes torna-se opção de escolha.

De acordo com as características aqui mencionadas, grande parte das marcas produtoras de veículos híbridos elétricos e de veículos elétricos, tem optado pela aplicação de baterias níquel-hidretos metálicas [Dhameja, 2002].

2.2.3.4. Baterias de lítio

O lítio é um metal com baixa massa volúmica e que apresenta boas características a nível eletroquímico, apresentando as baterias de lítio uma elevada energia específica e uma elevada potência específica.

Existem vários tipos de baterias de íões lítio que diferem no material utilizado no cátodo. No cátodo pode ser utilizado LiCoO_2 , LiNiO_2 , LiMn_2O_4 e LiFePO_4 . A Tabela 1 apresenta um conjunto de propriedades das baterias de íões de lítio utilizando distintos materiais no cátodo que permite compara a aptidão de cada um destes tipos de bateria para aplicação em veículos híbridos elétricos e elétricos puros.

Tabela 1. Quadro comparativo das características das baterias de íões de lítio com diferentes óxidos no cátodo.

Cátodo	LiCoO₂	LiNiO₂	LiMn₂O₄	LiFePO₄
Segurança em Sobrecarga	C	C	B	A
Compatibilidade Ambiental	C	C	A	A
Energia Específica [W·h/kg]	180 ^{c.}	180 ^{e.}	83 ^{a.}	108 ^{b.}
Densidade de Energia [W·h/L]	492 ^{c.}	126 ^{e.}	154 ^{a.}	220 ^{b.}
Potência Específica [W/kg]	900 ^{c,d}	1100 ^{e.}	3380 ^{a.}	3600 ^{b.}
Ciclo de Vida	700	5250 ^{e.}	800	7000 ^{b.}
Custo do Metal de Base [€/kg]	50	12,7	2	0,11
Disponibilidade do Metal Base do Cátodo [milhares toneladas métricas]	7×10 ³	8×10 ⁴	2×10 ⁵	7×10 ⁷

^{a.} [Kojima et al, 2009]

^{b.} [Wixon et al, 2007]

^{c.} [http://www.alibaba.com/product-gs/581625980/Best_quality_INR_ICR_18650_LiCoO2.html]

^{d.} [<http://www.docstock.com/docs/71483615/Batteries-for-Energy-Storage#>]

^{e.} [Zhang et Wang, 2009]

A-Bom

B-Razoável

C-Pobre

A análise da Tabela 1 permite concluir que as baterias de LiCoO₂, LiNiO₂ ficam excluídas de uso em veículos híbridos elétricos e elétricos puros devido à baixa segurança em sobrecarga e à baixa compatibilidade ambiental. Restam apenas as baterias LiMn₂O₄ e LiFePO₄. As baterias de íões de lítio que foram selecionadas para os estudos foram as LiFePO₄, pois além de possuírem maior segurança em sobrecarga e boa compatibilidade ambiental são as que apresentam um número de ciclos de carga e descarga superior, maior potência específica, além de utilizarem o metal de base do cátodo de menor custo e mais abundante na natureza.

2.2.3.4.1. Baterias de lítio polímero

As baterias de lítio polímero (Figura 16) são constituídas por metal de lítio para elétrodo positivo intercalado com uma transição de óxido metálico que servirá de elétrodo negativo. O óxido metálico possui uma estrutura em camadas onde os íões lítio são colocados, podendo efetuar-se o processo de carga e descarga da bateria. Uma película fina de polímero é utilizada como eletrólito, oferecendo maior segurança e versatilidade de *design* das baterias.

Na descarga, os íões lítio formados no elétrodo negativo migram através da película polimérica, sendo inseridos na estrutura cristalina do elétrodo positivo. Como é óbvio, na descarga o processo será inverso.

Esta bateria opera numa tensão nominal de 3 V, apresenta uma energia específica de 155 W·h/kg e uma potência específica que varia entre 2338 W/kg e 4676 W/kg. Para além destas vantagens demonstradas, a bateria polimérica de lítio apresenta uma taxa de auto descarga de cerca de 0,5% por mês. Em termos de segurança, este tipo de bateria torna-se seguro, visto que os elementos constituintes da bateria encontram-se no estado sólido, não correndo o risco de derrame de substância perigosas.

Contudo, também apresenta desvantagens, sendo uma delas a capacidade de funcionamento a baixas temperaturas, pois necessita de temperatura ligeiramente elevada para a condutividade [Ehsani et al., 2005].



Fig. 16. Bateria de lítio polímero
[http://www.wikienergia.pt/~edp/index.php?title=Bateria_de_l%C3%ADtio-pol%C3%ADmero].

2.2.3.4.2. Bateria de íões lítio

Desde o seu aparecimento, a bateria de íões lítio (Figura 17) foi rotulada como a bateria mais promissora da nova era de baterias, tendo mesmo ainda numa fase de desenvolvimento, aceitação no mercado de veículos híbridos elétrico e veículos elétricos. A bateria utiliza para elétrodo negativo uma intercalação de carbono litiado e para elétrodo positivo um óxido metálico, como eletrólito utiliza uma solução orgânica ou um polímero em estado sólido, pois são elementos mais estáveis evitando a redução do lítio. Durante a carga e a descarga das baterias, os íões de lítio migram através do eletrólito para o elétrodo negativo e positivo respetivamente.

A sobrecarga em baterias de íões lítio deve ser cuidadosamente controlada para evitar danos na bateria sob forma de decomposição do eletrólito. O desenvolvimento de um sistema de gestão de energia é essencial para se operar em segurança, mesmo em caso de acidente.

As baterias de íões lítio são de menores dimensões, podendo no mesmo espaço de aplicação de baterias de níquel cádmio, transportar o dobro da energia [Dhameja, 2002].

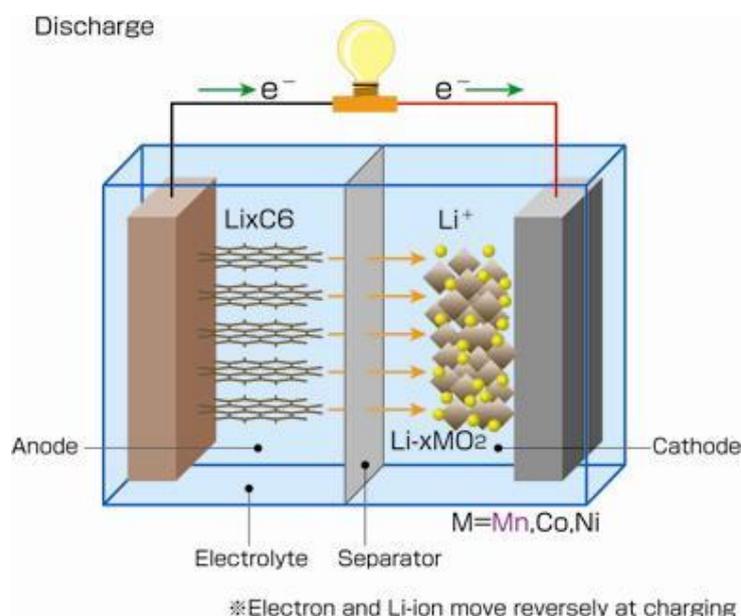


Fig. 17. Esquema de uma bateria de íões lítio [<http://www.eco-aesc-lb.com/en/liion.html>].

2.2.3.5. Supercondensadores

Normalmente os supercondensadores são elementos aplicados em veículos híbridos elétricos, tendo como principal finalidade a condução urbana.

Em condução urbana a diferença entre acelerações e desacelerações é cerca de dois terços da energia consumida em ambiente urbano. Num veículo híbrido elétrico é bem mais importante o pico de potência de armazenamento de energia do que a capacidade de energia. Baseado na construção de baterias, onde é difícil conciliar potência específica elevada, energia específica elevada, um elevado número de ciclos de vida e de dimensões reduzidas, promoveu o desenvolvimento de uma hibridização de um sistema de uma fonte de energia e de uma fonte de potência. Esses elementos são designados por supercondensadores, que permitem armazenar grandes quantidades de energia, provenientes sobretudo de travagem regenerativa, com aplicação nas pequenas acelerações e início da ignição do veículo [Ehsani et al., 2005].

2.2.4. Conjugação das características dos tipos de baterias

Tabela 2. Comparação das características das baterias [Sistemas de Propulsão Alternativos-FCTUC, 2011].

	Gel Pb	NiCd	NiMH	Li-Ion	Li-Po
V elemento (nominal) /V	2,0	1,2	1,2	3,7	3,7
V elemento (carregada) /V	2,3	1,37	1,44	4,2	4,2
V elemento (mínima) /V	1,67	0,8	0,8	3,0	3,0
Energia específica /(Wh/kg)	25-38	30-38	61	154-190	155
Densidade de energia /(Wh/l)	70-80	70-100	154	251-394	328
Potência específica /(W/kg)	378-546	240-324	305		2338-4676
Rendimento energético	71	71	71	80	83
Temperatura de func. (°C)	40	40-85	40-85		

Rechargeable Battery Technology	Power Density /W/kg	Weight to Discharge @1500W /lbs	Safety	Life at 100% DOD 1C rate /cycles	Environmental
LFP Li-ion	3600	0.9	✓	7000	✓
LNCO Li-ion	1800	1.8	✗	700	✗
NiMH	750	4.4	✓	1000	✓
NiCd	600	5.5	✓	1000	✗

Fig. 18. Melhor combinação de densidade de potência, segurança e vida das baterias [*Lithium Iron Phosphate Cell Performance Evaluations for lunar Extravehicular Activities, 2007*].

2.2.5. Veículos elétricos puros

Assim como o mercado nos oferece uma grande variedade de veículos híbridos elétrico, também já começam a surgir veículos puramente elétricos, principalmente a aposta das marcas surge nos veículos de segmento A e B.

Em termos de aceitação, o mercado ainda não se encontra totalmente preparado para a transição, visto ainda surgirem bastantes questões pertinentes ao qual ainda não surgiram respostas.

Algumas das marcas que tem investido neste segmento são a Renault, Nissan, Smart e simplesmente como objetivo de estudo, surgem alguns veículos como o caso do protótipo Veeco.

2.2.5.1. Renault Fluence Z.E.

A Renault é uma das marcas que apresenta no mercado, uma gama de veículos 100% elétricos, sendo eles o Renault Twizy, Renault Zoe, Renault Fluence Z.E. e Renault Kangoo Z.E. (Figura 19).

O veículo que será abordado será o Renault Fluence Z.E.



Fig. 19. Gama de veículos elétricos puros da Renault [<http://www.renault.pt/gama/veiculos-eletricos/>].

Como já foi referido, o Renault Fluence Z.E. (Figura 20) é um dos veículos elétricos que a Renault dispõe no mercado, tendo este como principais características construtivas um motor elétrico síncrono com rotor bobinado que debita 70 kW de potência máxima às 3000 rpm e um binário de 226 N·m. O veículo é equipado com baterias de iões lítio com uma capacidade energética de 22 kWh, o que permite ter uma autonomia de cerca de 120 km.

Existem três formas de carregamento do veículo. A primeira é efetuar o carregamento numa tomada doméstica de 220 V e que demorará cerca de 10 a 12 horas a completar o carregamento. A segunda alternativa será efetuar o carregamento nos postos de carregamento rápido de 400 V, mas que demorará cerca de 30 minutos a efetuar o carregamento. A terceira alternativa será trocar o conjunto de baterias através do sistema “*Quickdrop*”, em postos para o respetivo efeito, e que demorará cerca de 3 minutos [Catálogo Renault Fluence, 2012].



Fig. 20. Renault Fluence elétrico [<http://www.cockpitautomovel.com/2012/04/apresentacao-renault-fluence-ze.html>].

2.2.5.2. Nissan Leaf

Outro veículo de condução puramente elétrica é o caso do Nissan Leaf (Figura 21). Este modelo apresenta um motor síncrono que debita 80 kW de potência e tem um binário máximo de 280 N·m. apresenta um conjunto de baterias de íões lítio de capacidade de 24 kWh e uma autonomia média de 175 km, mas que poderá variar de acordo com a velocidade que se pratica e a temperatura a que se encontra o sistema.



Fig. 21. Nissan Leaf, elétrico puro [<http://www.dieselstation.com/cars/2010-nissan-leaf-a1951.html>].

A Tabela 3 demonstra a autonomia do veículo em diferentes estágios de funcionamento [http://es.wikipedia.org/wiki/Nissan_Leaf].

Tabela 3. Autonomia do Nissan Leaf de acordo com a variação de velocidade
 [http://es.wikipedia.org/wiki/Nissan_Leaf].

Tabela de autonomia do Nissan Leaf em km										
Carga %	Barras	56 km/h	64 km/h	72 km/h	81 km/h	89 km/h	97 km/h	105 km/h	113 km/h	121 km/h
100	12	213	195	179	156	143	132	121	109	100
91,5	11	201	184	169	148	137	126	114	105	95
84,0	10	187	169	156	137	126	116	105	97	87
77,9	9	172	156	143	126	116	106	97	89	81
70,8	8	158	142	130	114	105	97	87	81	72
66,2	7	143	129	118	103	95	87	79	72	66
58,0	6	129	114	105	92	84	77	69	64	58
50,9	5	114	101	92	81	74	68	61	56	52
43,4	4	100	87	79	69	63	58	52	48	43
36,3	3	85	74	66	58	53	48	43	40	37
31,3	2	71	60	53	47	42	39	34	32	29
26,0	1	52	39	37	31	27	24	21	19	18
17,4	Baixa	39	32	27	23	21	19	18	16	14
8,9	Muito baixa	13	11	10	8	8	6	6	5	5

2.2.5.3. Smart Fortwo Electric Drive

Um veículo que certamente não passa despercebido, principalmente pelas suas dimensões, é o Smart Fortwo (Figura 22). Sendo este um modelo principalmente focado nas deslocações citadinas, não poderia faltar no seu segmento de oferta um veículo elétrico.



Fig. 22. Smart Fortwo Electric Drive [<http://www.autoplanet.cz/blog/smart-fortwo-electric-drive-skutecny-elektromobil-pro-zivot/>].

O Smart Fortwo, apresenta na constituição da sua plataforma, um conjunto de baterias de iões lítio de capacidade 17,6 kWh, dando uma sensação de espaço e de um centro de gravidade baixo. Para propulsionar o pequeno automóvel, foi-lhe aplicado um motor de magneto permanente que debita 55 kW de potência com 130 N·m de binário, permitindo percorrer cerca de 140 km sem efetuar qualquer carregamento. O carregamento é executado com uma “Wallbox” de 400 V e carregador de 22 kW, demorando cerca de 1 hora a carregar completamente. Caso o carregamento seja efetuado numa tomada doméstica normal, a extensão de carregamento passará para as 8 horas [Catálogo Smart Fortwo electric drive, 2012].

2.2.5.4. Veeco RT

O veículo de propulsão elétrica Veeco RT (Figura 23) surgiu no âmbito do estudo de veículos elétricos, tendo sido uma parceria entre a empresa Fabricação de Veículos de Tração Elétrica, Lda e o Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Na sua constituição, o veículo é propulsionado por um motor assíncrono trifásico com um regime de potência debitada de 30 kW a 80 kW e um binário máximo de 450 N·m.



Fig. 23. Veeco RT [<http://factorautomovel.blogspot.pt/2012/02/normal-0-21-false-false-false-pt-x-none.html>].

O conjunto de baterias (Figura 24) é composto por baterias lítio óxido fosfato de ferro de capacidade de 16 kWh a 48 kWh, o que permite ter uma autonomia que poderá variar dos 200 km aos 400 km [http://www.veeco.pt/veeco_012.htm].

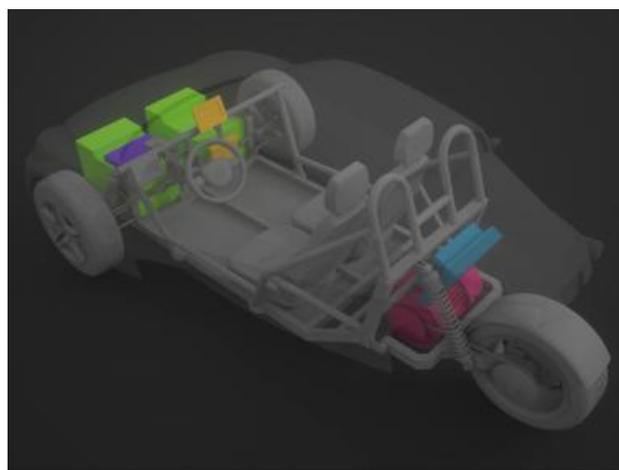


Fig. 24. Esquema do sistema de propulsão elétrico do Veeco RT [http://www.veeco.pt/veeco_012.htm].

3. CONDIÇÕES DE PROJETO

No âmbito da Unidade Curricular da dissertação de Mestrado, foi proposto de acordo com os tipos de propulsão elétrica alternativa, desenvolver um estudo por forma a determinar qual a melhor alternativa ao sistema de propulsão de motor de combustão interna. As duas alternativas, foram o estudo de um veículo híbrido elétrico com um determinado regime de funcionamento de motor elétrico e de motor de combustão interna, e o estudo de um veículo com motor de impulsão elétrica.

O motor de combustão interna, já fora anteriormente estudado no âmbito da dissertação de Mestrado do Engenheiro Hernâni Joaquim Tiago Pita, sendo um motor com a referência TU3JP-KFW de 1,4 litros, utilizado no modelo Peugeot 206. O estudo do motor de combustão interna, destinava-se a determinar qual o melhor desempenho num circuito citadino.

Atualmente o estudo destina-se ao tipo de baterias a utilizar e o seu regime de funcionamento, englobando características, tais como, custo dos componentes do sistema de propulsão elétrico (motor elétrico e conversor de corrente), custo do sistema de armazenamento de energia elétrica, autonomia do veículo, relacionamento de custos de energia elétrica com energia fóssil.

3.1. Seleção das baterias utilizadas no projeto

O programa de simulação poderá ser utilizado para obter dados para posterior análise, por forma a obter conclusões coerentes da aplicação que se pretende efetuar.

Inicialmente efetuou-se uma pesquisa sobre várias marcas de vários tipos de baterias existentes no mercado, organizando todos os seus dados numa folha de cálculo, de forma a perceber quais as baterias que deveriam entrar no estudo do sistema de propulsão elétrico do veículo.

De um conjunto de 14 baterias (Tabela 4) de marcas ou características diferentes, escolheram-se 6 baterias para a aplicação do estudo, tendo sido escolhidas três tipos diferentes, sendo elas de óxido lítio fosfato de ferro (duas da marcas A123 modelo 26650M1A (varia o preço da bateria unitária), marca *Thunder Sky* modelo TS-LFO20AHA, marca *Winston Battery* modelo WB-LFY200AHA), bateria de níquel de hidretos metálicos (marca *Uniross* modelo 2700) e por fim uma bateria de chumbo (marca *Classic* modelo *Enersol 100*), (Tabela 5)

Tabela 4. Características das baterias inicialmente selecionadas para estudo.

	Tipo	Marca	Modelo	Capacidade nominal /[mAh]	V_{ref} /[V]	m /[kg]	v /[L]	Preço /[€]	Capacidade medida /[mAh]	E /[W·h]	E_{sp} [W·h/kg]	Dens. E. [W·h/L]	CEA /[€/ W·h]
1	LiFePO4	A123 (1)	26650M1A with tabs	2300	3,3	0,07	0,034	13,37	2300	7,59	108,43	219,93	1,762
2	LiFePO4	A123 (2)	26650M1A with tabs	2300	3,3	0,07	0,034	4,65	2300	7,59	108,43	219,93	0,613
3	LiFePO4	Thunder Sky	TS-LFP20AHA	20000	3,2	0,75	0,453	19,90	20000	64	85,33	141,20	0,311
4	LiFePO4/Li FeYPO4	Winston Battery	WB-LFY200AHA	200000	3,2	7,3	5,050	195,00	200000	640	87,67	126,71	0,305
5	NiMH	UNIROSS	2700	2700	1,2	0,029	0,008	3,75	2467	2,960	100,92	360,89	1,267
6	Lead Acid (VRLA)	Panasonic	VRLA LC-R127R2P	6300	12	2,470	0,915	37,40	6300	75,6	30,61	82,58	0,495
7	Lead Acid (VRLA)	Panasonic	VRLA LC-R127R2P	6300	12	2,470	0,915	17,20	6300	75,6	30,61	82,58	0,228
8	Lead Acid (VRLA)	RS 537-5488	Y7-12RS 12V 7Ah	5500	12	2,180	0,948	14,50	5500	66	30,28	69,62	0,220
9	Lead Acid	Norauto	45.1	45000	12	11,671	6,813	77,00	45000	540	46,27	79,26	0,143
10	Lead Acid	TUDOR	-	45000	12	11,671	6,813	120,00	45000	540	46,27	79,26	0,222
11	Lead Acid	Jumbo	-	40000	12	-	-	55,00	40000	480	-	-	0,115
12	Lead Acid	Classic	Enersol 100	99000	12	23,490	9,528	264,00	99000	1188	50,58	124,68	0,222
13	Lead Acid	TUDOR	Extenso	44000	12	11,530	6,274	117,33	44000	528	45,79	84,17	0,222

Tabela 5. Conjunto de baterias selecionadas para estudo.

	Tipo	Marca	Modelo	Capacidade nominal /[mAh]	V_{ref} /[V]	m /[kg]	v /[L]	Preço /[€]	Capacidade medida /[mAh]	E /[W·h]	E_{sp} /[W·h/kg]	Dens. E. /[W·h/L]	CEA /[€/ W·h]
1	LiFePO4	A123 (1)	26650M1A with tabs	2300	3,3	0,07	0,034	13,37	2300	7,59	108,43	219,93	1,762
2	LiFePO4	A123 (2)	26650M1A with tabs	2300	3,3	0,07	0,034	4,65	2300	7,59	108,43	219,93	0,613
3	LiFePO4	Thunder Sky	TS- LFP20AHA	20000	3,2	0,75	0,453	19,90	20000	64	85,33	141,20	0,311
4	LiFePO4/LiFeYPO 4	Winston Battery	WB- LFY200AHA	200000	3,2	7,3	5,050	195,00	200000	640	87,67	126,71	0,305
5	NiMH	UNIROSS	2700	2700	1,2	0,029	0,008	3,75	2466,7	2,96	100,92	360,89	1,267
13	Lead Acid	Classic	Enersol 100	99000	12	23,490	9,528	264,00	99000	1188	50,58	124,68	0,222

Após organização dos dados referentes a cada tipo de bateria em estudo, procedeu-se ao estudo individual de cada uma delas, iniciando-se por calcular a energia específica, a densidade específica e o custo por unidade de energia através das seguintes equações:

Energia específica:

$$\frac{E_T[\text{W}\cdot\text{h}]}{m[\text{kg}]} = [\text{W} \cdot \text{h}/\text{kg}]. \quad (1)$$

Densidade específica:

$$\frac{E_T[\text{W}\cdot\text{h}]}{v[\text{L}]} = [\text{W} \cdot \text{h}/\text{L}]. \quad (2)$$

Custo por unidade de energia:

$$\frac{\text{€}}{E[\text{W}\cdot\text{h}]} = [\text{€}/\text{W} \cdot \text{h}]. \quad (3)$$

Energia da bateria:

$$\frac{V_{\text{ref}}[\text{V}] \times \text{Capacidade da bateria}[\text{mAh}]}{1000} = E[\text{W} \cdot \text{h}]. \quad (4)$$

Ao se efetuar uma análise detalhada das condições de funcionamento das baterias, bem como as suas características, nomeadamente da sua energia específica e densidade específica, consegue-se delinear uma linha de estudo, selecionando as baterias que aparentemente apresentarão resultados coerentes a uma aplicação nos veículos híbridos elétrico e nos veículos puramente elétrico. Como referido anteriormente, os seis modelos selecionados, foram os que aparentemente apresentaram valores de densidade e energia específica, aceitáveis a essa aplicação. A escolha de outros dois modelos de baterias, a de níquel de hidretos metálicos e a de chumbo, foi unicamente para fins comparativos (principalmente a de níquel de hidretos metálicos, pois tem uma larga aplicação nos

veículos híbridos elétricos e veículos puramente elétricos que se encontram atualmente no mercado).

Após selecionados os tipos e modelos de baterias a estudar, foi necessário consultar os catálogos do seu produtor, para que se possa ter em atenção alguns dados técnicos que sejam necessários ao dimensionamento da unidade de armazenamento de energia elétrica.

3.1.1. Bateria LiFePO₄

Marca: A123

Modelo: 26650M1A

No anexo A encontra-se a folha de informação técnica sobre a bateria A123 26650M1A aplicada no estudo sobre a autonomia do veículo híbrido elétrico e veículo puramente elétrico.

No gráfico “*Low Temperature Discharge Performance*”, verifica-se a variação da temperatura na descarga da bateria. As descargas verificadas, são efetuadas a 25 °C, 0 °C e -20 °C, com uma corrente de descarga de 2,3 A. Como foi referido anteriormente, a temperatura de funcionamento das baterias é crucial, e neste gráfico consegue observar, pois consoante diminui a temperatura, a tensão fornecida pela bateria também diminui.

No segundo gráfico, “*Discharge Characteristic, 25 deg C*”, a análise efetua-se a uma temperatura constante de 25 °C, fazendo variar a corrente de descarga. As variações verificadas são de 1 A, 10 A, 30 A e 40 A. O aumento da corrente de descarga, faz com que a tensão fornecida pela pilha também diminua, por exemplo, com uma descarga efetuada a 1 A, a bateria fornece uma tensão de saída aproximadamente constante de 3,3V. Quando se aumenta a corrente de descarga para 40 A, a tensão de saída passa para aproximadamente 2,7V.

No terceiro gráfico, “*Cycle Life Performance, 100% DOD, Various Temperature*”(Tabela 6), temos uma análise conjugada dos dois gráficos anteriormente representados. Neste gráfico verifica-se uma variação da temperatura e correspondentes variações da corrente de carga e descarga completa da bateria:

Tabela 6. Dados de variação de corrente e de corrente de carga e descarga do gráfico "Cycle Life Performance, 100% DOD, Various Temperature".

Temperatura	25°C	45°C	60°C
Corrente de Carga	2.3 A	3 A	3 A
Corrente de Descarga	2.3 A	5 A	5 A

Pode-se observar que mantendo uma temperatura amena, a rondar os 25 °C e aplicar-se uma corrente de carga e de descarga baixa, consegue-se atingir um elevado número de ciclos de vida sem que a capacidade da bateria esteja em causa, chegando mesmo ao fim de 1000 ciclos de carga e descarga completa, apresentar uma capacidade de armazenamento de energia de 95 %.

Quando se aplica um aumento da temperatura, um ligeiro aumento da corrente de carga e um aumento considerável da corrente de descarga, verifica-se que a capacidade da bateria diminui à medida que o número de ciclos de carga e descarga completa vão passando. Mesmo assim, demonstra a elevada resistência das baterias de LiFePO₄, pois mesmo com um funcionamento a 60 °C, a sua capacidade de descarga matem-se nos 78% ao fim de 1000 ciclos.

Este modelo de baterias foi desenvolvido inicialmente para fins aplicativos à indústria aeroespacial. Estudos efetuados pela NASA, permitiram retirar conclusões acerca do regime de funcionamento deste tipo de baterias sobre controlo da tensão de carga das baterias, diferenças na descarga das baterias a influência da carga e descarga na temperatura das baterias.

O estudo realizou-se com uma bateria A123 de lítio fosfato de ferro, com as seguintes características (Tabela 7):

Tabela 7. Dados da bateria A123.

Referência	2.3 A·h
Massa	72 g
Volume	0,035 L
Tensão Nominal	3,3 V
Intervalo de Tensão	3,6 V a 2,0 V
Intervalo de temperatura de funcionamento	-30 °C a 60 °C
Geometria	Cilíndrico

Nos resultados a seguir apresentados, permite observar a influência da temperatura de funcionamento da bateria e consoante a corrente solicitada à bateria, verifica-se a velocidade de descarga da mesma.

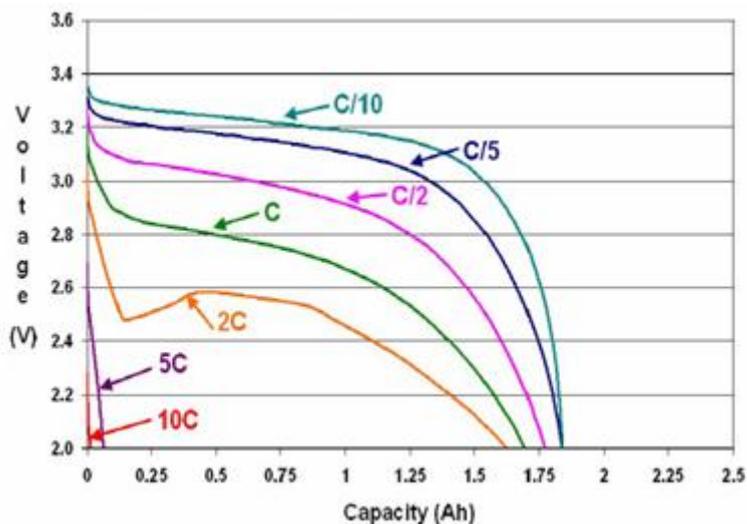


Fig. 25. Capacidade da bateria LiFePO₄ a diferentes taxas de descarga, a uma temperatura de - 20°C [Lithium Iron Phosphate Cell Performance Evaluations for Lunar Extravehicular Activities, 2007].

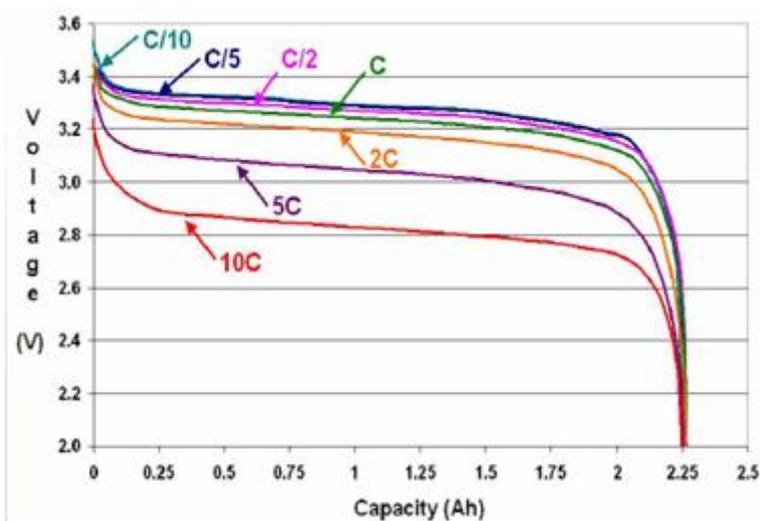


Fig. 26. Capacidade da bateria LiFePO₄ a diferentes taxas de descarga, a uma temperatura de 20°C [Lithium Iron Phosphate Cell Performance Evaluations for Lunar Extravehicular Activities, 2007].

Os testes realizados nas temperaturas de -20 °C e 20 °C (Figuras 25 e 26 respetivamente), permite concluir que a 20 °C, independentemente da corrente de descarga,

a bateria apresenta sempre a mesma capacidade, já a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ à medida que a corrente de descarga aumenta a capacidade da bateria diminui.

Ainda se observa uma aproximação da tensão dos valores da bateria aproximadamente até ao descarregamento de $2C$, sofrendo nos seguintes modos de descarregamento uma quebra superior, mas mesmo assim apresenta um perfil estável de descarregamento. A $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, a quebra de tensão é mais acentuada quanto maior for a corrente de descarga, chegando mesmo a ter uma quebra imediata de tensão no descarregamento a $10C$, diminuindo drasticamente a sua capacidade.

No gráfico da Figura 27, a análise é elaborada mantendo a velocidade de descarga, mas fazendo variar a temperatura de funcionamento. Noutros tópicos já referenciados anteriormente, onde se mencionou que a temperatura de bom funcionamento das baterias seria muito perto de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, pode-se comprovar através dos resultados obtidos durante o estudo da NASA, onde a gama de temperatura de bom funcionamento da bateria, se situa entre os $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e os $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, sem que se afete a capacidade das mesmas.

Seguindo as fórmulas (5), (6), (7), (8), conclui-se facilmente a relação do funcionamento das baterias com a variação da temperatura.

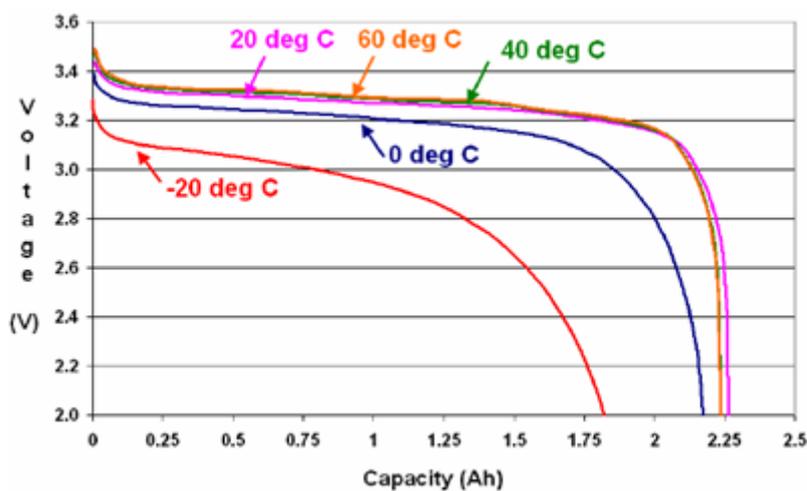


Fig. 27. Capacidade da bateria A123 com uma corrente de descarga de $0,5C$, com variação de temperatura [Lithium Iron Phosphate Cell Performance Evaluations for Lunar Extravehicular Activities, 2007].

Potência calorífica gerada numa bateria

$$\dot{Q}_g[\text{W}] = R_{\text{int}}[\Omega] \times I^2[\text{A}]. \quad (5)$$

Área da bateria cilíndrica

$$\text{Área} [\text{m}^2] = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \times 2 + \pi \cdot D \cdot L. \quad (6)$$

Potência calorífica dissipada

$$\dot{Q}_{\text{diss}}[\text{W}] = h \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right] \times A[\text{m}^2] \times (T_p - T_s)[\text{K}]. \quad (7)$$

$$\dot{Q}_g - \dot{Q}_{\text{diss}} = m \times c_p \times \frac{dT}{dt}. \quad (8)$$

O calor gerado na pilha está diretamente relacionado com resistência interna da bateria e a intensidade de corrente que é aplicada. Ora quanto maior for a resistência da bateria (e esta aumenta consoante baixa a temperatura da bateria ou não se consiga dissipar parte da energia térmica produzida caso a temperatura seja muito elevada), mais energia dissipada sob forma de calor, será libertada. Outras variáveis, tais como a área da superfície, a condutividade dos materiais, são importantes na determinação das condições de funcionamento da bateria. Nas Figuras 28 e 29 verifica-se o comportamento do aumento da temperatura da bateria K2 26650EV de LiFePO_4 durante a descarga.

Corrente de descarga de 1C



Fig. 28. Evolução da temperatura, da corrente e da tensão de uma bateria LiFePO₄, na descarga a 1C [www.zeva.com.au].

Corrente de descarga de 5C

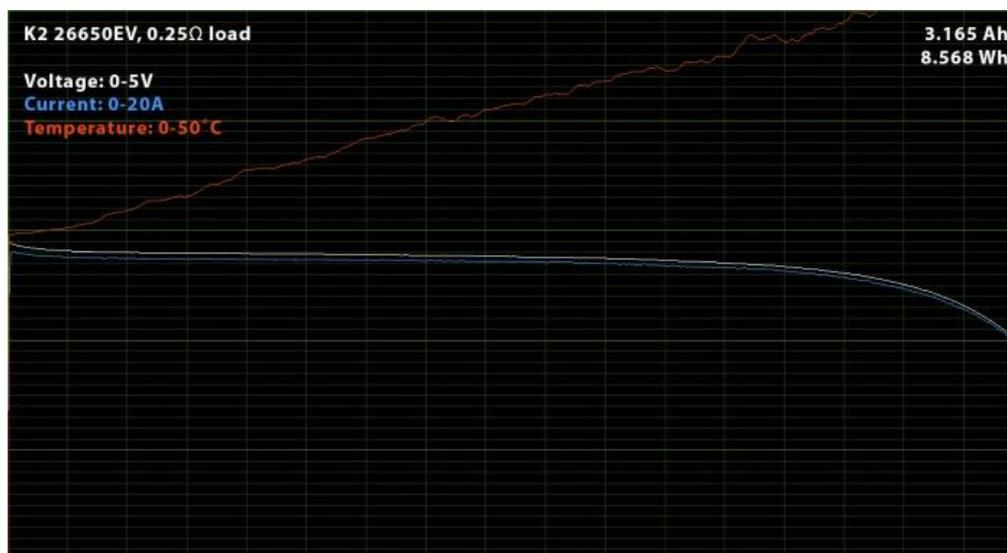


Fig. 29. Evolução da temperatura, da corrente e da tensão de uma bateria LiFePO₄, na descarga a 5C [www.zeva.com.au].

3.1.1.1. Carregamento de baterias

Quanto ao processo de carregamento de baterias, será necessário limitar a corrente de carga, pois consoante a resistência interna da bateria ou a velocidade com que se efetua o carregamento, irá aumentar a temperatura da bateria e conseqüentemente, como já referenciado no gráfico “*Cycle Life Performance, 100% DOD, Various Temperature*” do anexo A.

No gráfico da Figura 30, está descrito como deverá ser efetuado o controlo do carregamento de uma bateria, de forma a rentabilizar a vida útil da bateria.

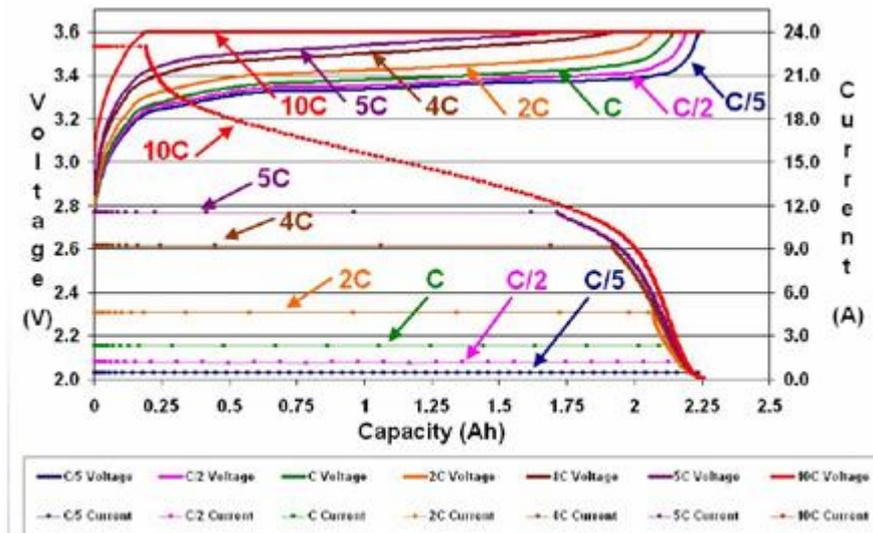


Fig. 30. Controlo da corrente a diferentes taxas de carga de uma bateria LiFePO₄ a 20 °C [*Lithium Iron Phosphate Cell Performance Evaluations for Lunar Extravehicular Activities, 2007*].

De acordo com a equação (9), o carregador deverá limitar a corrente de carga para que esta não seja superior à corrente máxima admissível pela bateria.

$$I[A] = \frac{(V_C - V_P)[V]}{R_{int}[\Omega]} \quad (9)$$

$$I < I_{m\acute{a}x} \quad (10)$$

$$V < V_{m\acute{a}x}. \quad (11)$$

Analisando a equação deduz-se que se a corrente for elevada, a resistência da bateria aumentará, proporcionando conseqüentemente um aumento da temperatura e uma diminuição do número de ciclos de vida.

No gráfico da Figura 30, mostra o comportamento do carregamento de uma bateria com controlo de corrente durante a carga. Quanto maior for a corrente aplicada no carregamento, menos tempo será necessário efetuar o controlo, visto a bateria atingir rapidamente o valor perto da carga admissível. Quando se atinge esse valor admissível, a corrente começa a diminuir até que se atinja o máximo de capacidade da bateria.

3.1.1.2. Estado de carga

Muitas das vezes as baterias são armazenadas sem qualquer tipo de atividade durante um longo período de tempo. Ora, quando é necessária a sua utilização, deparamo-nos que a sua carga não se encontra exatamente como se encontrava inicialmente.

No desenvolvimento das baterias A123 de LiFePO_4 , também se realizaram testes onde entravam variáveis de tempo, capacidade perdida pelas baterias, temperatura do local de armazenamento e estado de carga das baterias. Os resultados a seguir apresentado nas Figuras 31 e 32, referem-se ao armazenamento num estado de carga das baterias de 100% da carga e 50% da carga.

Storage at 100% SOC

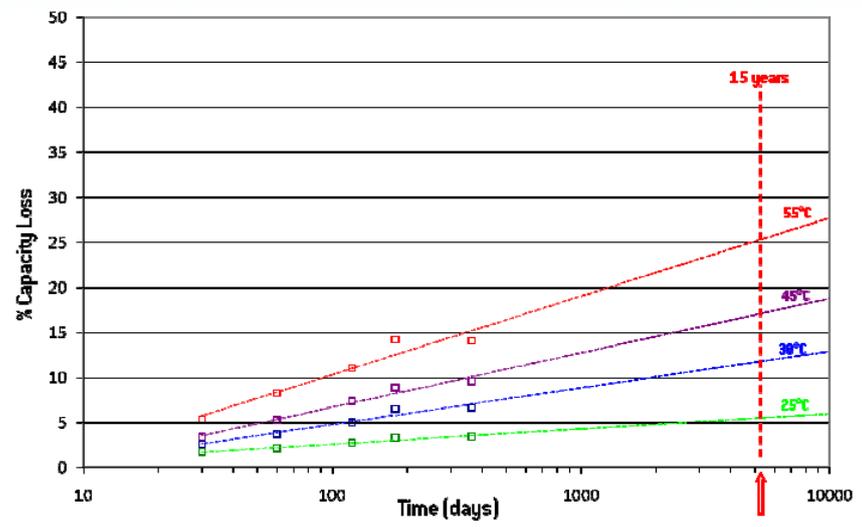


Fig. 31. Evolução da perda de capacidade de uma bateria de LiFePO_4 , com o tempo e temperatura de armazenamento, para o estado de carga de 100% [Development of battery packs for space applications, 2007].

Storage at 50% SOC

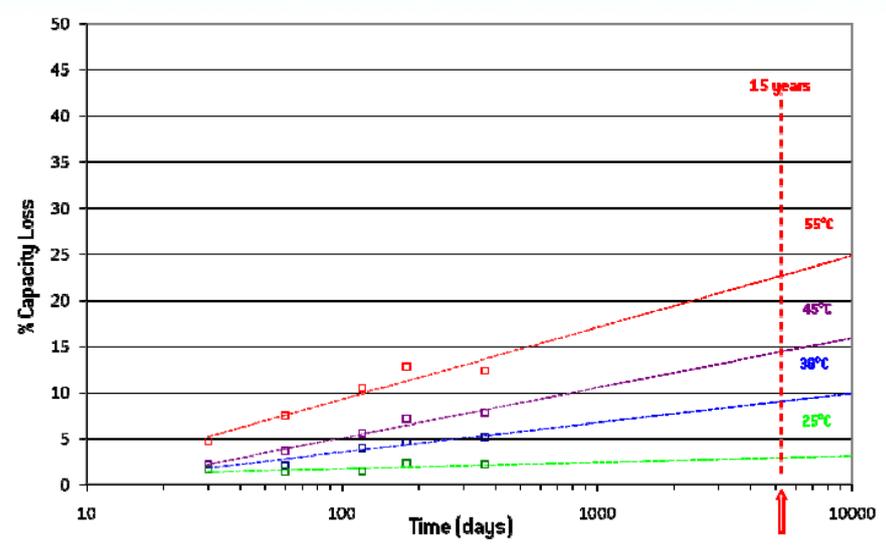


Fig. 32. Evolução da perda de capacidade de uma bateria de LiFePO_4 , com o tempo e temperatura de armazenamento, para o estado de carga de 50% [Development of battery packs for space applications, 2007].

Observando os dois os resultados obtidos para os dois estados de carga, considerando a análise na temperatura ótima de funcionamento das baterias, que se situa a 25 °C, para um estado de carga de 100% verifica-se que a bateria ao fim de um período de tempo de 15 anos, perdeu 6% da sua capacidade de carga total, já para um estado de carga de 50% a bateria perdeu 3% da sua capacidade de carga total. Para as restantes temperaturas, a tendência de perda de capacidade de carga é a mesma. Num armazenamento de baterias durante um longo período sem utilização, deverá ser efetuado com cerca de 50% de carga armazenada, evitando que ao longo do tempo a sua capacidade de carga total não tenha uma quebra tão acentuada.

Marca: *Thunder Sky*

Modelo: TS-LFP20AHA

As especificações de funcionamento e manutenção são iguais às baterias A123, pois são baterias do mesmo tipo, LiFePO_4 .

No anexo B encontram-se os dados técnicos do fornecedor das baterias. Um dado importante para a análise das baterias, como referido anteriormente, é a resistência interna. Tanto na bateria *Thunder Sky* como na bateria *Winston Battery*, não são fornecidos esses dados, considerando para o caso em estudo a mesma resistência interna das baterias A123.

Marca: *Winston Battery*

Modelo: WB-LFY200AHA

Em termos funcionais, a bateria *Winston Battery* apresenta um comportamento muito idêntico à bateria A123, visto serem ambas de LiFePO_4 .

No anexo C, pode-se observar as características de carga e descarga da bateria, bem como o seu comportamento quando armazenadas com energia armazenada.

3.1.2. Bateria de níquel hidretos metálicos

Marca: *Uniross*

Modelo: 2700

No anexo D encontra-se a folha com os dados técnicos da bateria *Sanyo Twicell* e não da bateria *Uniross 2007*. Apesar de não ser a mesma bateria, os dados técnicos e o tipo de bateria são iguais, o que permite observar algumas das características típicas deste género de baterias.

Geralmente, em termos de comportamento de carga e descarga da bateria, apresentará algumas semelhanças. Quando comparando a capacidade de descarga representada no gráfico “*Temperature Characteristics*” do anexo B, verifica-se que a baixas temperaturas a bateria vai apresentando valores de capacidade de descarga baixos (90% da capacidade da bateria a 0 °C), mas à medida que a temperatura sobe a capacidade de descarga da bateria também aumenta (situando-se nos 100% a cerca de 20 °C). Como referido anteriormente, a resistência interna da bateria influencia a temperatura de funcionamento, que por sua vez influencia a performance da bateria.

Segue no anexo D e também interessante analisar, é o gráfico “*Charge/Discharge Cycle Characteristics*”, onde se pode verificar o número de ciclos de carga e descarga que se consegue efetuar e analisar a capacidade armazenamento de energia da bateria. Verifica-se que a bateria a executar um ciclo de carga e descarga completa a 1C e em funcionamento a 20 °C, ao fim de 500 ciclos apresenta uma capacidade de retenção de energia na ordem dos 80%.

Comparando os resultados dos testes das baterias de LiFePO_4 e a baterias de NiMH , nas mesmas condições de funcionamento as baterias de NiMH apresentam um ciclo de vida 10 vezes inferior ao de LiFePO_4 .

3.1.3. Bateria de chumbo

Marca: *Classic*.

Modelo: *Enersol 100*.

Como sucedido na bateria de NimH *Uniross 2700*, não foi possível adquirir o catálogo referente às baterias de gel de chumbo *Classic Enersol 100*. Contudo, para termos comparativos, foi possível analisar alguns dados técnicos de um outro modelo de baterias de gel de chumbo, a *Panasonic LC-R127R2P*, que se encontram disponíveis no anexo E.

Ao se analisar os dados fornecidos, observa-se que a bateria de gel de chumbo apresenta uma resistência interna superior à bateria de LiFePO_4 , prevendo um funcionamento da mesma a correntes de carga e descarga mais baixas (possível analisar no tópico Carregador de bateria).

A massa e o volume da bateria por sua vez é superior, o que para aplicações a veículos elétricos puros e veículos híbridos elétricos, não será a melhor opção.

No gráfico “*Discharge Characteristics*”, do anexo E, observa-se que a bateria de chumbo, mesmo com uma corrente de descarga baixa (aproximadamente 0,1C) a uma temperatura de boas condições de funcionamento, tem uma duração de tempo de utilização igualmente baixa, de cerca de 1 hora e 10 min. Em contrapartida, estas baterias fornecem uma tensão mais elevada, evitando a aplicação de vários elementos se necessário.

3.1.4. Carregador de bateria

A carga das baterias é uma ação muito importante para a durabilidade das baterias, pois é necessário limitar a corrente de carga, como já referenciado e explicado no subtópico “Carregamento de baterias” do tópico “3.1.1. Bateria LiFePO_4 ”.

Atualmente no mercado existe uma vasta gama de oferta de carregadores de baterias. Uns são produzidos especificamente para um único tipo de baterias, outros permitem efetuar o carregamento de vários tipos de baterias.

Os equipamentos que permitem efetuar o carregamento de vários tipos de baterias, por norma apresentam dados informativos sobre a corrente máxima que poderá ser aplicada ao tipo de bateria que se pretende carregar.

Como exemplo, no anexo F encontra-se parte da informação do catálogo do carregador *Imax B6*, [Imax,2007], carregador que permite carregar vários tipos de baterias. Nos dados do anexo F, informa a tensão e a corrente que se deverá aplicar a cada tipo de bateria, por forma a rentabilizar ao máximo a durabilidade e efetuar carregamentos em segurança.

Dados sobre o carregamento de baterias na situação de projeto, foram tidos em conta de acordo com informações apresentadas na folha informativa do anexo F.

4. FOLHA DE CÁLCULO DO PROJETO

Para análise do projeto de estudo de uma unidade de baterias para um veículo híbrido elétrico e um veículo elétrico puro, foi utilizado um programa de modelação do ciclo NEDC [Carvalheira, 2010].

A folha de cálculo inicialmente contemplava uma zona destinada à adição das variáveis do veículo automóvel com o motor de combustão interna. As variáveis do motor de combustão interna já foram estabelecidas por [Pita, 2011].

Os dados referentes às características do veículo (Figura 33), encontram-se desde a coluna A até à coluna F e entre as linhas 1 e 28. Simplesmente nesta seção da folha de cálculo, houve alteração na massa do veículo, visto que a massa de bateria variava de acordo com as características de carregamento que se aplicavam à bateria.

	A	B	C	D	E	F
1	Modelação do New European Driving Cycle					
2					MSPe/kg	843,3
3	Constantes				Mveic./kg	950
4	g/(m/s ²)	9,80665	YH20 (fracção mássica)	0,008800662	Mpilot./kg	100
5	Ru/(J/mol·K)	8,314472	Yarseco (fracção mássica)	0,991199338	Mtot./kg	1893,3
6			w/(kg H2O/kg Ar seco)	0,008878801	Cr	0,01
7	μ pneu max lat	0,80			Tpista/°C	25
8	Cα/(N/rad)	20000	Peugeot 206 1.4 KFW	1.4XS e 1.4XT	Cx(Re = 1.0E6)	0,32
9	DRFE/m	0,5831			Expoente do Cx	0
10	DRFD/m	0,5831	(Tb/Tbmáx)MCI	1,328747779	L/m	3,835
11	DRTE/m	0,5831			Af/m ²	1,97
12	DRTD/m	0,5831			Cx·Af/m ²	0,6304
13	IRFE/kg.m ²	0,6630			pa/Pa	101325
14	IRFD/kg.m ²	0,6630	Rend. Trans.	0,901	Tar/°C	25,0
15	IRTE/kg.m ²	0,6550	Relações Totais do Sistema de Transmissão		Ta/K	298,15
16	IRTD/kg.m ²	0,6550	1*	11,10416667	RH/%	45
17	meqRODAS/kg	31,011	2*	5,880952381	pv,s/Pa	3169,0
18	ldiff	4,0625	3*	4,146551724	pv/Pa	1426,05
19	DWT/m	0,5831	4*	3,16875	xH20 (fracção molar)	0,014074
20	Imotor/kg.m ²	0,1080	5*	2,494186047	xarseco (fracção molar)	0,985926
21	Iveio primário/kg.m ²	1,95E-03	Reverse	14,55729167	MH2O/(kg/mol)	0,0180153
22	Imotor+veio pr./kg.m ²	1,0995E-01	Relações de Caixa	Caixa MA 5/N 20CE45	Mar seco/(kg/mol)	0,02896413
23	Iveio secundário/kg.m ²	0,00184	1*	0,365853659	Ma/(kg/mol)	0,02881004
24	Iveiot secundário	4,0625	2*	0,690789474	par/(kg/m ³)	1,177581
25	meqveio secund./kg	0,357	3*	0,97972973	uar/(Pa.s)	1,8325E-05
26	Isemi-eixo+dif./kg.m ²	0,00716	4*	1,282051282	uar/(m ² /s)	1,5562E-05
27	Isemi-eixo+dif.		5*	1,628787879	Alt. min./m	0,000
28	meqsemi-eixo+dif./kg	0,084	Reverse	0,279069767	Alt. max./m	0,000

Fig. 33. Dados de entrada no programa de simulação numérica sobre o veículo automóvel em análise.

Nas tabelas contidas entre as colunas H e Q e as linhas 3 e 16 da folha de cálculo (Figura 34), os dados referenciados correspondiam a condições aplicadas ao

veículo, durante o ciclo NEDC. Nelas compreendem-se regimes de funcionamento do veículo, bem como as velocidades a que este se encontra sujeito.

	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1										
2										
3	Vel. Média /(km/h)		33,58		v /(km/h)	min	min	seg		
4	WFRNC /J		-4168004,77		1º Ciclo ECE	18,7308	3,25	3	15	
5	Wb /J		0,00		2º Ciclo ECE	18,7308	6,5	6	30	
6	WFRNC/Wb		#DIV/0!		3º Ciclo ECE	18,7308	9,75	9	45	
7	ρ combustível /(kg/m ³)		755		4º Ciclo ECE	18,7308	13	13	0	
8	QLHVp combustível /(MJ/kg)		42,9		Ciclo EUDC	62,5937	19,6667	19	40	
9	Relação H/C do combustível		1,85		Ciclo MNEDC	33,5996	19,6667	19	40	
10	gCO ₂ /gcombustível		3,171766932							
11	km/Ciclo NEDC		11,007		Nmin /rpm	Nmáx /rpm	Vmin /(km/h)	Vmáx /(km/h)	nf, b	
12	Consumo de Combustível Ciclo NEDC				1º Ciclo ECE	0,00	1886,31	0,000	50,000	#DIV/0!
13	g/Ciclo NEDC		2,657		2º Ciclo ECE	0,00	1886,31	0,000	50,000	0,000000
14	L/Ciclo NEDC		0,00352		3º Ciclo ECE	0,00	1886,31	0,000	50,000	0,000000
15	(L/km) Ciclo NEDC		0,000319746		4º Ciclo ECE	0,00	1886,31	0,000	50,000	#DIV/0!
16	(km/L) Ciclo NEDC		3127,482		Ciclo EUDC	0,00	2723,11	0,000	120,000	#DIV/0!

Fig. 34. Dados do ciclo NEDC da simulação numérica.

A tabela compreendida entre as colunas H e N e as linhas 18 e 24 (Figura 35), será bastante importante, pois permitirá recolher os dados do consumo de gasolina e o nível de emissões do motor de combustão interna. Esses dados serão aplicados no estudo do veículo híbrido elétrico, para calcular o custo total da energia despendida para movimentar o veículo. Estes dados poderão ser comparados individualmente durante o circuito NEDC, bem como com os valores apresentados pelo veículo somente propulsionado pelo motor de combustão interna.

	H	I	J	K	L	M	N
18			Simulação	Real	Simulação	Real	Simulação
19			gC02/km	gC02/km	L/100 km	L/100 km	nf, b
20	Total	NEDC	0,77	162	0,032	6,6	0,000000
21	Veículo parado	NEDC	0,77				
22	Veículo a andar	NEDC	0,00		0,000		
23	Total	UDC	2,08		0,087	8,9	0,000000
24	Total	EUDC	0,00		0,000	5,3	#DIV/0!

Fig. 35. Dados de saída do programa de simulação numérica, sobre consumo de combustível fóssil e emissões do veículo.

As tabelas compreendidas entre as colunas AU e BA e as linhas 1 e 22 (Figura 36), correspondem aos dados de entrada e aos dados de saída do programa, sobre as baterias que se efetuam os estudos. A primeira linha será efetuada a identificação da bateria

consoante o tipo de bateria, a marca e o modelo da mesma. Na tabela “Características da bateria unitária”, efetuar-se-á a entrada dos dados individuais sobre a bateria em análise. Na tabela “Características da bateria” obtém-se dado de saída referentes ao sistema global do conjunto de baterias a aplicar no sistema de propulsão elétrico. Os dados mais importantes para a análise do problema encontram-se nestas tabelas, sendo eles o volume total de baterias para o sistema, a sua autonomia, a massa total do sistema de propulsão elétrico e o custo do sistema de propulsão elétrico.

	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA
2	CARACTERÍSTICAS DA			CARACTERÍSTICAS DA			
3	BATERIA UNITÁRIA			BATERIA			
4	Tensão máx. /V	3,6		Tensão /V	360		
5	Tensão nom. /V	3,3		Rendimento Bat.	0,83333		
6	Tensão min. /V	2,0		Σ ER_bat /J	1593788,8		
7	Capacidade /A.h	2,3		ER_bat_tot /A.h a V	1,23		
8	Capacidade /A.h medida	2,3		Σ Econs_bat /J	1592645,8		
9	Imax. Descarga /C	1		PR_bat_max /W	30920,39		
10	Imax. Carga /C	0,2		Imax Bat. /A	85,89		
11	Imax. Descarga /A	2,30		nBat /ramo	101		
12	Imax. Carga /A	0,46		n ramos	187		
13	Rint. Ohm	0,008		nBat	18887		
14	m /kg	0,070		Massa /kg	1322,09		
15	Custo /Euros	13,37		Custo /Euros	252519,19		
16	Volume	0,03451		E_bat /W.h (teórico)	143352,33	E_bat /W.h (real)	143352,33
17				Volume tot Baterias (V/L)	651,79		
18				Range teórico, Elec. /km	3566,621	Range real, Elec. /km	3566,621466
19							
20							
21	MSPE /kg	1428,09	1428,09				
22	Custo SPE /Euros	255894,19		Σ (ER-Econs) bat /J	1142,7		

Fig. 36. Dados da programação numérica sobre “Caraterísticas da bateria unitária” e “Caraterísticas da bateria”.

Na tabela “Características do motor eléctrico” situada entre as colunas BC e BD e as linhas 4 e 17 (Figura 37), são introduzidos as variáveis de entrada do motor de propulsão elétrico selecionado para a aplicação à viatura.

Ainda são representadas mais duas tabelas designadas por “Características do alternador” e “Características do conversor AC-DC e DC-AC”, onde também se introduzem os dados de entrada caraterísticos do alternador e do conversor AC-DC e DC-AC respetivamente.

	BC	BD	BE	BF	BG	B
2	CARACTERÍSTICAS DO MOTOR ELÉCTRICO			CARACTERÍSTICAS DO ALTERNADOR		
3	MOTOR ELÉCTRICO			ALTERNADOR		
4	i_{ME}	1		Rendimento Alt	0,91	
5	$P_{b\max,ME}$ /W	19000				
6	$n_{\max,ME}$ /rpm	6000				
7	$n_{\min,ME}$ /rpm	800		CARACTERÍSTICAS DO CONVERSOR AC-DC e DC-AC		
8	$T_{b\max,ME}$ /N.m	226,7958		η AC-DC	0,93	
9	T nominal /N.m	90,71832		η DC-AC	0,93	
10	n nominal /rpm	2400		Massa /kg	48	
11	η_{\max} ME	0,9234		Custo /Euros	3000	
12	Coef Det. Rend.	0,06				
13	η_{\max}	0,91949				
14	η_{\min}	0,80345				
15	$\eta_{\text{Méd}}$	0,85029				
16	Massa /kg	58				
17	Custo /Euros	375				
18						
19	Períodos do Motor Eléctrico ON					
20	t ON /s	tOFF /s				

Fig. 37. Dados do programa de simulação sobre as “Caraterísticas do motor eléctrico”, “Caraterísticas do alternador” e “Caraterísticas do alternador AC-DC e DC-AC”.

Numa segunda folha de cálculo, designada por “CaracterísticasBaterias”, efetuou-se a análise geral dos resultados obtidos individualmente na folha do programa de modelação do ciclo NEDC. Essa análise incidia na comparação final do custo da energia geral, despendida em cada sistema de propulsão (sistema de propulsão híbrido eléctrico, eléctrico puro ou motor de combustão interna).

4.1. Dados de entrada

Dados de entrada da bateria

1. Capacidade da bateria.
2. Tensão máxima da bateria.
3. Corrente máxima de descarga (em C).
4. Resistência interna da bateria.
5. Massa da bateria.
6. Custo da bateria.
7. Volume da bateria.

-
8. Rendimento da bateria.

Dados de entrada do motor elétrico

1. Potência máxima do motor elétrico.
2. Rotação máxima do motor elétrico.
3. Rotação mínima do motor elétrico.
4. Binário máximo do motor elétrico.
5. Coeficiente de deterioração do rendimento do motor elétrico.
6. Custo do motor.
7. Massa do motor.

Dados de entrada do alternador

1. Rendimento do alternador.

Dados de entrada do conversor AC-DC e DC-AC

1. Rendimento do conversor.
2. Massa do conversor.
3. Custo do conversor.

4.2. Dados de saída

Dados de saída das baterias

1. Energia consumida pela bateria.
2. Corrente máxima da bateria.
3. Número de baterias por ramo.
4. Número de ramos.
5. Número total de baterias.
6. Massa total de baterias.

-
7. Custo total de baterias.
 8. Energia teórica das baterias.
 9. Volume total das baterias.
 10. Autonomia teórica das baterias.
 11. Diferença da energia de regeneração e a energia consumida.

Dados de saída do motor elétrico

1. Binário nominal do motor elétrico.
2. Rotação nominal do motor elétrico.
3. Rendimento do motor elétrico.
4. Rendimento máximo do motor elétrico.

As células que contém os valores dos dados de saída sobre as baterias, motor elétrico, conversor e alternador, estão representadas nas Figuras 36 e 37, variam de acordo com o tipo de baterias que se está a utilizar, sendo representados pelas equações que se seguem.

4.3. Equações do sistema de propulsão elétrico

4.3.1. Equações dos dados de saída das baterias

O número de baterias por ramo é dado pela equação (12).

$$n^{\circ} \text{ de baterias por ramo} = \text{int} \left(\frac{V}{V_{\text{máx}}} \right) + 1 \quad (12)$$

O número de ramos da bateria é dado pela equação (13).

$$n^{\circ} \text{ de ramos} = \text{int} \left(\frac{n^{\circ} \text{ de baterias por ramo}}{I_{\text{máx,carga}} [\text{A}]} \right) + 1 \quad (13)$$

O número de baterias aplicadas é dado pela equação (14).

$$n^{\circ} \text{ baterias} = n^{\circ} \text{ de baterias por ramo} \times n^{\circ} \text{ de ramos} \quad (14)$$

A energia teórica das baterias é dada pela equação (15).

$$E_{\text{bat.teórico}} [\text{W} \cdot \text{h}] = n^{\circ} \text{ de baterias} \times \text{cap. cada bat.} [\text{A} \cdot \text{h}] \times V_{\text{nom}} [\text{V}] \quad (15)$$

A autonomia do veículo é dada pela equação (16).

$$\text{Autonomia} [\text{km}] = \frac{E_{\text{bat.teórico}} [\text{W} \cdot \text{h}] \times 3600 \times \text{dist. ciclo NEDC}}{\sum \text{Energia consumida} [\text{J}]} \quad (16)$$

A energia elétrica consumida pelo motor elétrico no intervalo de tempo Δt é dada pela equação (17).

$$E_{\text{cons.}} [\text{J}] = \frac{1}{\eta_{\text{m.e.}} \times \eta_{\text{conv. DC-AC}}} \times T_{\text{b,m.e.}} [\text{N} \cdot \text{m}] \times 2\pi \times \frac{n_{\text{m.e.}} [\text{rpm}]}{60} \times \Delta t [\text{s}] \quad (17)$$

O binário ao freio do motor elétrico é dado pela equação (18).

$$T_{\text{b,m.e.}} [\text{N} \cdot \text{m}] = \frac{P_{\text{b,m.e.}} [\text{W}] \times 60}{2\pi \times n_{\text{m.e.}} [\text{rpm}]} \quad (18)$$

A energia elétrica recuperada na travagem é dada pela equação (19).

$$E_{\text{reg.}} [J] = -\eta_{\text{trans}} \times \eta_{\text{alt}} \times \eta_{\text{conv AC-DC}} \times \eta_{\text{bat}} \times FP [N] \times \Delta\text{distância} [m] \quad (19)$$

A corrente máxima das baterias é dada pela equação (20).

$$I_{\text{máx.}} [A] = \frac{P_{\text{reg.máx.das bat.}} [W]}{\text{Tensão das baterias} [V]} \quad (20)$$

A potência recuperada durante a travagem é dada pela equação (21).

$$P_{\text{reg.}} [W] = \frac{E_{\text{reg.}} [J]}{\Delta t [s]} \quad (21)$$

4.3.2. Equações dos dados de saída do motor elétrico

O binário nominal do motor elétrico é o binário para o qual o motor apresenta o rendimento máximo. Considerou-se que o binário nominal do motor elétrico é 40% do binário máximo, é dado pela equação (22).

$$T_{b,\text{nom}} [N \cdot m] = 0.4 \times T_{b,\text{máx}} [N \cdot m] \quad (22)$$

A velocidade de rotação do motor elétrico é a rotação para o qual o motor apresenta o rendimento máximo. Considerou-se que a rotação nominal do motor elétrico é 40% da rotação máxima, é dada pela equação (23).

$$\text{rpm}_{\text{nom}} [\text{rpm}] = 0.4 \times n_{\text{máx}} [\text{rpm}] \quad (23)$$

O rendimento do motor elétrico é dado pela equação (24)-

$$\eta_{m.e.} = \eta_{\text{máx. m.e.}} - CdR \times \left[\left(\frac{T_{b,m.e.} [N \cdot m] - T_{b,nom.} [N \cdot m]}{T_{b,nom.} [N \cdot m]} \right)^2 + \left(\frac{n_{m.e.} [\text{rpm}] - n_{nom.m.e.} [\text{rpm}]}{n_{nom.m.e.} [\text{rpm}]} \right)^2 \right] \quad (24)$$

A equação (25) dá o rendimento máximo do motor elétrico e é obtida através do ajuste de uma curva aos dados da eficiência mínima de um motor elétrico trifásico Classe 1 do regulamento Europeu (Tabela 7).

$$\eta_{m\acute{a}x. m.e.} = -0.015456 \times \log(P_{b,m\acute{a}x.motor\ el\acute{e}t.})^2 + 0.18186 \times \log(P_{b,motor\ el\acute{e}t.}) + 0.42828 \quad (25)$$

4.4. Motor elétrico selecionado para o projeto

O motor elétrico selecionado para o projeto, desejar-se-á que apresente a maior eficiência possível, mas muitas vezes torna-se inconclusivo qual o rendimento que se obtém a partir de um determinado motor com uma potência pouco usual. Este é o caso das características de motor que foi selecionado para aplicar na propulsão do sistema elétrico.

Muitas vezes pensa-se que o tipo de motor a escolher é importante, mas não se trata do tipo de motor que se aplica, mas sim a sua capacidade de converter energia elétrica em energia mecânica. A eficiência do motor elétrico não se torna muito simples de determinar, visto não existir uma norma concreta para a sua determinação. Contudo existem pontos gerais que ajudam a determinar uma aproximação dessa eficiência, sendo eles as vantagens e desvantagens dos motores e o seu tamanho.

A primeira regra indica que quanto maior for o motor maior será a sua eficiência, independentemente do tipo de motor que se venha a aplicar.

O segundo fator é a velocidade de funcionamento do motor, tendo um motor de maior velocidade de rotação será mais eficiente que um motor com menor velocidade de rotação. Pois as perdas mais importantes são proporcionais ao binário do motor e as baixas rotações um motor elétrico apresenta um binário superior.

O terceiro fator corresponde à temperatura de funcionamento do motor, pois relacionando a resistência elétrica do motor com a temperatura de funcionamento do mesmo, evitará perdas por geração de calor.

Com base na Tabela 8, pode-se determinar o rendimento máximo do motor aplicado no sistema de propulsão elétrico (independentemente do tipo de motor que se aplique), de acordo com o tamanho do motor.

Tabela 8. Eficiência mínima de um motor elétrico classificado com a Classe 1 pelo regulamento Europeu [Larminie e Dicks, 2003].

Pb, E /[W]	Log10Pb,E /[W]	η Máx. Mot. EI.
1100	3,041	0,838
2200	3,342	0,864
4000	3,602	0,883
7500	3,875	0,901
15000	4,176	0,918
30000	4,477	0,932
50000	4,699	0,942
90000	4,954	0,950

Com base nos dados de seleção do motor elétrico aplicado no sistema de propulsão e comparando com os dados de eficiência mínima de um motor elétrico fornecidos na tabela, efetua-se o cálculo do logaritmo de base dez da potência do motor elétrico. Com os dados obtidos realiza-se um gráfico, sendo possível através da localização dos pontos, determinar um polinómio de segundo grau. Na folha de cálculo é possível realizar essa operação, clicando sobre os pontos com o botão direito do rato, seleccionando a opção “Formatar linha de tendência”. Automaticamente o polinómio de segundo grau será determinado, bem como o seu grau de proximidade à função exata. O polinómio de segundo grau determinado é a equação (25), permitindo determinar a eficiência do motor elétrico de 19 kW aplicado no sistema de propulsão elétrico.

De uma forma mais grosseira de determinar a eficiência do motor, será possível analisando um mapa de eficiência de motores elétricos, como está representado na Figura 38.

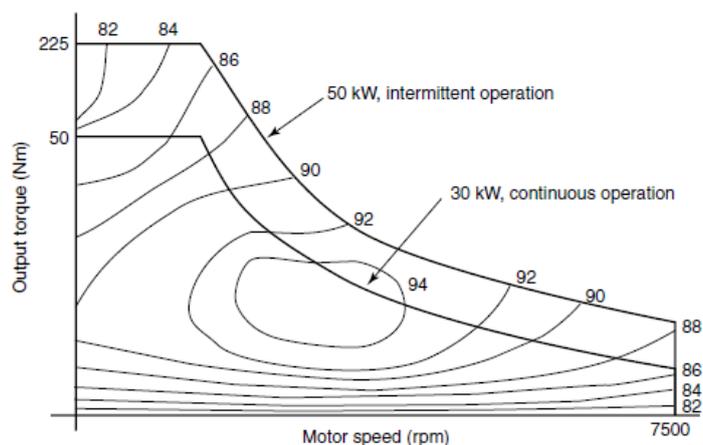


Fig. 38. Mapa de eficiência de um motor elétrico [Larminie e Dicks, 2003].

A Tabela 9 apresenta as características do motor elétrico aplicado na análise do problema.

Tabela 9. Características do motor elétrico aplicado no projeto em análise.

i ME	1
P_{máx,ME} /W	19000
n máx,ME /rpm	6000
n min,ME /rpm	800
T_{máx,ME} /N·m	226,80
T nominal /N·m	90,72
n nominal /rpm	2400
η Máx ME	0,92
Coef. Det. Rend.	0,06
η Máx.	0,92
η Min	0,80
η Méd.	0,85
Massa /kg	58
Custo /Euros	375

Alguns dados importantes do motor de propulsão elétrico (Figura 39), tais como a massa e o custo, foram recolhidos de um modelo idêntico.



Fig. 39. Motor de propulsão elétrico [<http://factory.dhgate.com/motorcycle-motor/20kw-40kw-brushless-dc-motor-p43236809.html>].

4.5. Modelo do conversor AC-DC e DC-AC

O modelo de conversor AC-DC e DC-AC (Figura 40) selecionado foi o XSB-20K e as suas características encontram-se no anexo G.



Fig. 40. Conversor AC-DC e DC-AC modelo XSB-20K aplicado no sistema [<http://portuguese.alibaba.com/product-gs/three-phase-20kw-output-solar-grid-tie-inverter-442580908.html>].

5. ENSAIO DE BATERIAS E DESEMPENHO DO VEÍCULO

5.1. Ciclo de condução NEDC

O ciclo de condução NEDC é um ciclo normalizado e regulamentado pela Comunidade Europeia que executa a medição de emissões e de consumos de veículos, homologando as viaturas para circulação europeia, que corresponde a quatro ciclos consecutivos de condução urbana (UDC) e um ciclo de condução extra urbana (EUDC). O ciclo encontra-se regulamentado pela norma comunitária CE 715/2007.

Cada ciclo UDC tem uma duração de 195 s, a distância percorrida no ciclo é 1,013 km, a velocidade máxima do ciclo é 50 km/h e a velocidade média do ciclo é 18,70 km/h. O ciclo EUDC tem uma duração de 400 s, a distância percorrida no ciclo é 6,955 km, a velocidade máxima do ciclo é 120 km/h e a velocidade média do ciclo é 62,60 km/h. O ciclo NEDC tem uma duração de 1180 s, a distância percorrida no ciclo é 11,007 km, a velocidade máxima do ciclo é 120 km/h e a velocidade média do ciclo é 33,58 km/h. O ciclo de condução e os procedimentos dos ensaios estão definidos pelas seguintes normas, sendo as mais recentes atualizações ou extensões das normas anteriores [Carvalheira, 2010]:

- Diretiva 70/220/CEE de 20 de Março de 1970
- Diretiva 80/1268/CEE de 16 de Dezembro de 1980
- Diretiva 91/441/CEE de 26 de Junho de 1991
- Diretiva 93/116/CEE de 17 de Dezembro de 1993
- Diretiva 2004/3/CE de 11 de Fevereiro de 2004
- Regulamento CE/715/2007 de 20 de Junho de 2007
- Regulamento CE/443/2009 de 23 de Abril de 2009

Através da distância percorrida pelo veículo durante o ciclo NEDC, a massa de combustível consumida e a massa volúmica do combustível, é possível determinar o

consumo efetuado pelo motor de combustão interna em $\left[\frac{L}{100km}\right]$. O consumo misto é representado pela equação (26).

$$NEDC \left[\frac{L}{100km}\right] = \frac{m_{f,total} [g] \times 100}{\rho_f \left[\frac{kg}{m^3}\right] \times d_{NEDC} [km]}. \quad (26)$$

Caso seja pretendido calcular o consumo do motor de combustão interna durante o percurso citadino ou extra-urbano, será efetuado o mesmo cálculo, mas somente entrarão os valores de massa de combustível e distância do percurso, que são representativos do percurso UDC ou EUDC, sendo dados pelas equações (27) e (28) respetivamente.

$$UDC \left[\frac{L}{100km}\right] = \frac{\sum_{UDC=0}^{d_{UDC}} m_{f,UDC} \times 100}{\rho_f \times d_{UDC}}. \quad (27)$$

$$EUDC \left[\frac{L}{100km}\right] = \frac{\sum_{EUDC=0}^{d_{EUDC}} m_{f,EUDC} \times 100}{\rho_f \times d_{EUDC}}. \quad (28)$$

Aplicando estas equações, determina-se quer o consumo misto do veículo, quer o consumo individual do veículo durante cada ciclo de condução normalizada.

Para obter os dados relativos às emissões e aos consumos do veículo, foram necessário introduzir dados relativos ao automóvel, tais como a massa do automóvel, área frontal, coeficiente de arrasto aerodinâmico, diâmetro das rodas propulsoras, relação da caixa de velocidades e diferencial (os dados encontram-se representados na tabela da Figura 32. Na folha de cálculo obtém-se os dados referentes à circulação do veículo durante o circuito NEDC. Esses dados irão ser apresentados na Tabela da Figura 35.

No anexo H encontram-se disponíveis os gráficos da norma da Comunidade Europeia do circuito NEDC.

Na Folha de cálculo do programa de modelação do ciclo NEDC, na linha 29 e desde a coluna A até à AX, são colocadas as variáveis de controlo do veículo, ou seja, controlo do funcionamento do motor de combustão interna e do motor elétrico, durante o

tempo de duração do percurso NEDC. A análise do percurso será efetuada com um intervalo temporal de 0,1 segundo, por forma a aproximar ao máximo os dados o mais próximo possível da continuidade.

No gráfico da Figura 41 verifica-se a velocidade e a distância percorrida pelo veículo (representado a traçado azul). De acordo com o regime de acionamento do motor de combustão interna ou do motor elétrico, a representação gráfica será realizada, representando o traçado a verde o binário desenvolvido pelo motor de propulsão elétrico durante 1563,09 metros e a traçado vermelho observa-se o binário produzido pelo motor de combustão interna desde os 1563,09 metros até aos 11013 metros.

A ativação de cada motor de propulsão poderá ser efetuada nas colunas AB para o motor de combustão interna e na coluna AS para o motor elétrico. O seleção do acionamento executa-se substituindo o algarismo 0 (significa que o motor de propulsão em questão encontra-se desligado) pelo algarismo 1 (significa que o motor de propulsão em questão encontra-se ligado). Quando se efetua essa alteração, esta poderá ser observada no gráfico da folha de cálculo, representado pelo gráfico da Figura 40.

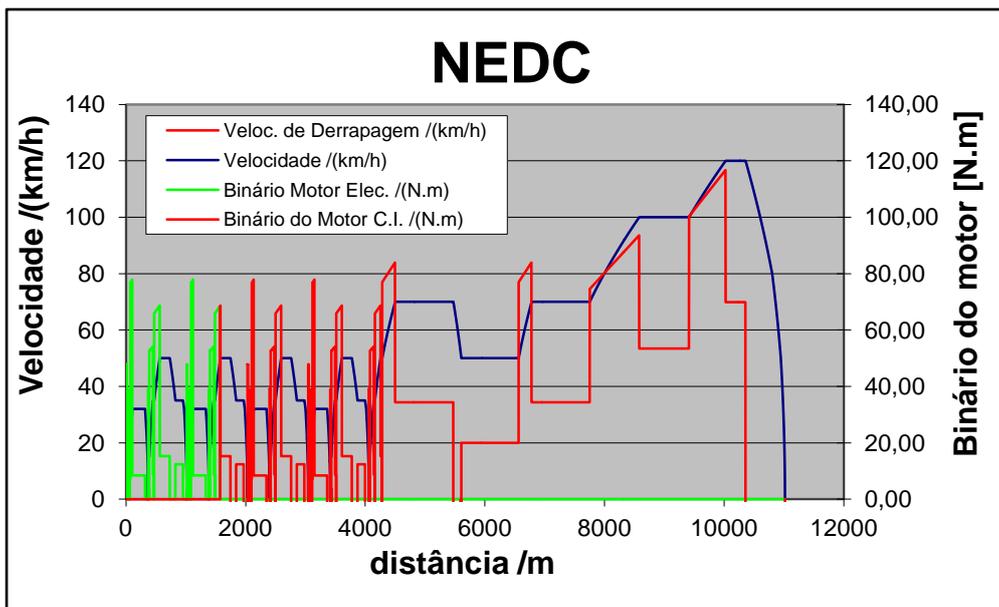


Fig. 41. Representação do acionamento do motor elétrico e de combustão interna durante o ciclo NEDC.

Como é visível no gráfico da Figura 42, e já foi referido anteriormente na explicação do ciclo NEDC, são efetuadas travagens. Ora a energia produzida nas travagens é armazenada nas baterias do sistema de propulsão elétrico (travagem regenerativa). No gráfico da Figura 41, estão apresentados os pontos de travagem, a desaceleração a que se encontra sujeito, a distância de travagem do veículo.

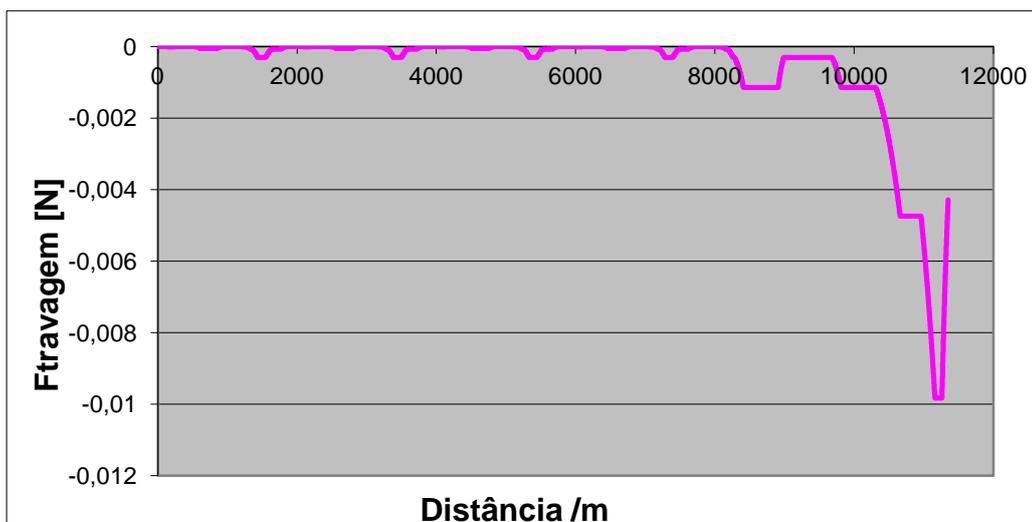


Fig. 42. Evolução da força de travagem regenerativa com a distância no ciclo NEDC.

5.2. Introdução dos dados de análise no programa

Na simulação numérica, para determinação dos dados de saída volume de baterias, range do veículo, massa do sistema de propulsão elétrico e custo do sistema de propulsão elétrico, foi necessário introduzir os dados de entrada referenciados no subtema “Dados de entrada da bateria”, sobre as baterias em análise. Como referido no tema “Baterias”, as baterias necessitam de ter um sistema de controlo de carga, para que a corrente não danifique as baterias e possa comprometer a carga das baterias. Durante a travagem regenerativa, as correntes de carga aplicadas às baterias, são elevadas, sendo necessário aplicar um sistema de baterias que suporte a corrente submetida. O controlo do número de baterias a aplicar é efetuado na célula referente à massa do sistema de propulsão elétrico, pois esta desenvolve-se num processo iterativo, que terá que convergir no valor da massa do sistema de propulsão a aplicar. Quando o valor da massa do sistema de propulsão elétrico converge, é obtido o número de baterias a aplicar, assim como os restantes dados do custo, autonomia do sistema elétrico e volume de baterias. (Observação das células dos dados de saída na Figura 36).

5.2.1. Folha de cálculo dos dados de saída

De acordo com as correntes de carga a que as baterias poderão ser sujeitas, verificar-se-á uma variação da massa do sistema de propulsão elétrico, variação do volume total das baterias, variação do custo do sistema de propulsão elétrica e variação da autonomia do sistema elétrico. O estudo efetuado, incidiu nas baterias apresentadas na Tabela 5, e de acordo com os dados de carga máxima, realizou-se uma análise individual a cada bateria selecionada, com uma variação de 0,1 C na corrente de carga.

Foi necessário efetuar duas vezes os estudo, uma para o veículo híbrido elétrico e outro para o veículo elétrico puro, pois o sistema de propulsão elétrico propulsionará o veículo durante os 0 metros aos 1563,09 metros no ciclo NEDC quando instalado no veículo híbrido elétrico e propulsionará o veículo elétrico puro dos 0 metros aos 11013

metros com o motor elétrico em funcionamento. Desta forma, a energia consumida no sistema elétrico de ambos os veículos será diferente.

Para analisar as diferenças existentes em cada sistema de propulsão e nas diferentes aplicações de corrente de carga admissíveis pela bateria, foi elaborada uma folha de cálculo para ordenação dos dados.

A folha de cálculo designada por “CaracterísticasBaterias”, apresentará colunas referentes ao sistema de propulsão híbrida, sistema de propulsão elétrica e sistema de propulsão de combustão interna.

Nas colunas referentes aos sistemas de propulsão elétrico puro e híbrido puro, são introduzidos os dados da massa do sistema de propulsão, o volume de baterias, o custo do sistema de propulsão, a autonomia e o custo por quilómetro. No sistema de propulsão híbrida elétrica ainda são adicionados os consumos do motor de combustão interna, em cada fase distinta de carregamento de baterias. Na Figura 43 está representada a área de trabalho da folha de cálculo “CaracterísticasBaterias”, onde se observam os diferentes campos de aplicação dos dados dos sistemas de propulsão.

Km	HÍBRIDO				MCI				CUSTO COMBUSTÍVEL				HÍBRIDO VS MCI				POUPANÇA				ELÉCTRICO			
	NEDC	UDC	EUDC	EUUC	NEDC	UDC	EUDC	EUUC	NEDC	UDC	EUDC	EUUC	NEDC	UDC	EUDC	EUUC	NEDC	UDC	EUDC	EUUC	m (kg)	V (l)	Custo SPE (€)	R
64,22	6,58	5,41	7,28	11,44	9,41	12,63	6,6	8,9	5,3	11,484	15,486	9,2	0,04319	6,07994	-3,40426	592463372	42088,3	-75168,9		1258,41	568,14	223486,31		
47,62	5,66	4,70	6,22	9,85	8,17	10,82	6,6	8,9	5,3	11,484	15,486	9,2	1,63749	7,31158	-1,59868	7390656,5	34996,5	-160066		643,32	264,90	106063,12		
42,93	5,38	4,43	5,90	9,35	7,79	10,26	6,6	8,9	5,3	11,484	15,486	9,2	2,13113	7,69233	-1,03927	3770120,6	33266,1	-246226		459,59	174,28	70893,50		
41,12	5,25	4,38	5,75	9,13	7,62	10,01	6,6	8,9	5,3	11,484	15,486	9,2	2,35496	7,86428	-0,78663	2552631,4	32538,8	-325305		367,59	128,96	53338,69		
40,06	5,16	4,32	5,66	8,99	7,51	9,85	6,6	8,9	5,3	11,484	15,486	9,2	2,49738	7,97482	-0,62422	1973573,4	32087,8	-409943		311,03	101,08	42536,73		
39,75	5,12	4,28	5,61	8,91	7,45	9,76	6,6	8,9	5,3	11,484	15,486	9,2	2,577	8,03623	-0,53399	1589191,9	31842,6	-479210		282,76	87,14	37134,26		
39,56	5,09	4,25	5,57	8,84	7,40	9,68	6,6	8,9	5,3	11,484	15,486	9,2	2,64069	8,08536	-0,46181	1355094,5	31649,1	-564112		254,47	73,20	31732,77		
39,54	5,05	4,23	5,53	8,80	7,36	9,63	6,6	8,9	5,3	11,484	15,486	9,2	2,68846	8,12221	-0,40767	1180330,7	31505,5	-627695		232,26	67,74	27681,66		
39,61	5,04	4,22	5,51	8,76	7,34	9,59	6,6	8,9	5,3	11,484	15,486	9,2	2,72031	8,14677	-0,37158	1067231,6	31410,5	-688662		219,12	65,77	24880,92		
39,77	5,02	4,20	5,49	8,73	7,31	9,56	6,6	8,9	5,3	11,484	15,486	9,2	2,75216	8,17134	-0,33549	956750,07	31316,1	-762746		212,05	62,28	23630,55		
40,07	5,00	4,19	5,47	8,70	7,29	9,52	6,6	8,9	5,3	11,484	15,486	9,2	2,78401	8,1959	-0,2994	848796,22	31222,2	-854691		197,91	45,31	20929,81		

Fig. 43. Folha do programa de análise de dados coletiva das baterias.

Na secção de análise do veículo elétrico, os dados observados são relacionados entre si, podendo ser analisadas as variáveis custo por quilómetro percorrido, custo do sistema de propulsão elétrico, relativamente à autonomia do sistema de baterias e à corrente de carga das baterias.

As variáveis comparáveis são obtidas da seguinte forma: o programa de simulação numérica do ciclo NEDC fornece o resultado da subtração da energia recuperada na travagem pela energia consumida pelo sistema de propulsão, colocando o valor no programa de simulação “CaracteristicasBaterias”. Na folha de cálculo “CaracteristicasBaterias” introduz-se o custo por litro de gasolina em [€/L], o custo da energia elétrica em [€/kWh], representada na Tabela 10, e o número de ciclos de carga e descarga admissível pelas baterias, representado na Tabela 11.

Tabela 10. Custo do combustível e da energia elétrica assumido nos cálculos.

Custo de energia	
Custo da gasolina	1,8 [€/L]
Custo da energia elétrica	0,19 [€/kWh]

Tabela 11. Número de ciclos de carga e descarga assumido para os diferentes tipos de baterias utilizados.

Bateria	Nº de ciclos
Bateria LiFePO4	5000
Bateria NimH	500
Bateria Pb	500

Considerando os dados apresentados nas Tabelas 10 e 11, efetuou-se o cálculo do custo por 100 quilómetro de distância percorrida através da equação (29).

$$\frac{\text{€}}{100 \text{ km}} = \frac{E [\text{W} \cdot \text{h}]_{100 \text{ km}} \times \text{Custo elétrico}[\text{€/W} \cdot \text{h}]}{\text{N}^\circ \text{ de ciclos das baterias} \times \text{Range}[\text{km}]} \quad (29)$$

Ao efetuar o cálculo do custo por quilómetro percorrido, realizou-se uma tabela onde seriam selecionados os melhores métodos de carga de cada bateria em análise e de acordo com os dados referentes a cada uma, determinou-se a distância teórica percorrida pelo veículo durante o período de vida das baterias.

Para o veículo híbrido elétrico, a análise terá que ser abordada de uma forma diferente, pois o programa de dimensionamento individual das baterias existente no programa de modelação do ciclo NEDC, está elaborado para que o veículo híbrido elétrico consuma quase a totalidade da energia recuperada e após esse ponto o motor de combustão interna entre em funcionamento. Desta forma, não é necessário recarregar as baterias através de outra fonte de energia elétrica. Ora o estudo deverá recair no diferencial de energia fóssil que o veículo consome no sistema de propulsão híbrida e no sistema de propulsão de combustão interna. Efetuado o cálculo do diferencial de custos, aplicando a equação (30), determina-se a distância necessária percorrer (em cada nível de carregamento) para que se consiga recuperar o investimento efetuado no sistema de propulsão elétrico no veículo híbrido elétrico.

$$\text{Recup. inv. [km]} = \frac{\text{Custo SPE}_{\text{híbrido}} \times 100}{\text{NEDC}_{\text{MCI}} - \text{NEDC}_{\text{híbrido}}} \quad (30)$$

6. RESULTADOS OBTIDOS

6.1. Veículo elétrico puro

A Figura 44 apresenta a evolução do custo por quilómetro e do custo do sistema de propulsão elétrico (CSPE) com a autonomia, aplicando a bateria A123 (1). Pela observação desta Figura conclui-se que o campo de aplicação prática situar-se-á entre a autonomia mínima de 80 km e máxima de 120 km, uma vez que este intervalo de autonomia proporciona um custo por unidade de distância percorrida baixo e CSPE baixo. Caso se pretenda uma autonomia mais elevada ter-se-á um custo por unidade de distância percorrida baixo mas o CSPE será elevado. Num intervalo de autonomia de 19 km a 80 km o CSPE será baixo e aumenta com a autonomia e o custo por unidade de distância percorrida será mais elevado mas diminui com a autonomia.

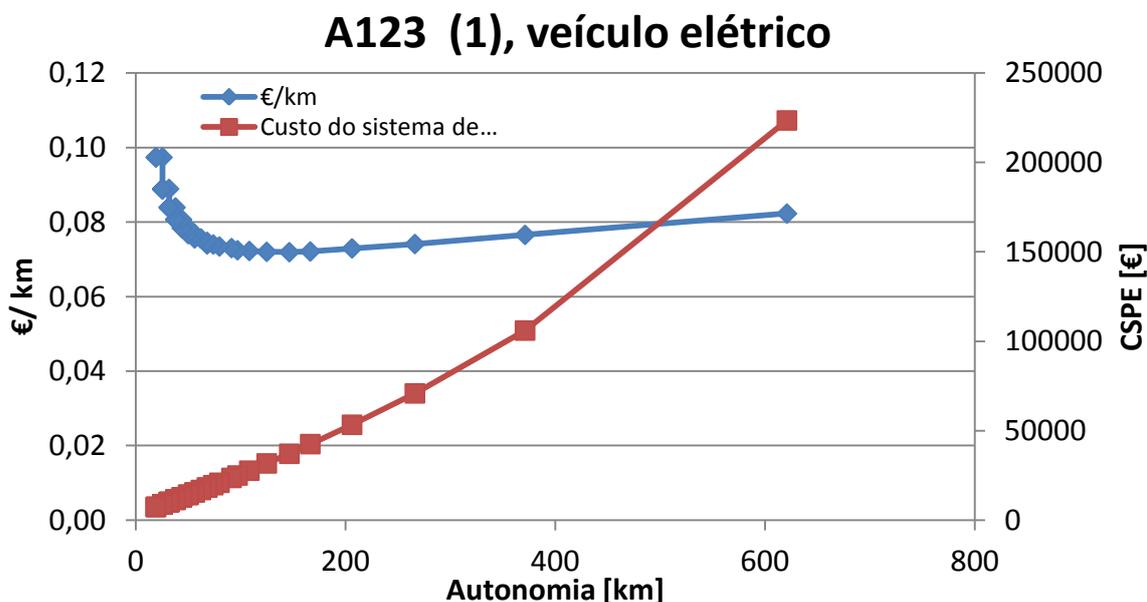


Fig. 44. Evolução do custo por quilómetro e do custo do sistema de propulsão elétrico com a autonomia, aplicando a bateria A123 (1).

A Figura 45 apresenta a evolução do custo por 100 quilómetros com a corrente de carga da bateria A123 (1). Pode-se observar uma diminuição do custo por distância percorrida com o aumento da corrente de carga de 0,2 C a 0,8 C e um aumento do custo

por unidade de distância percorrida com o aumento da corrente de carga de 0,8 C a 5 C, sendo praticamente constante no intervalo de 0,5 C a 1,2 C.

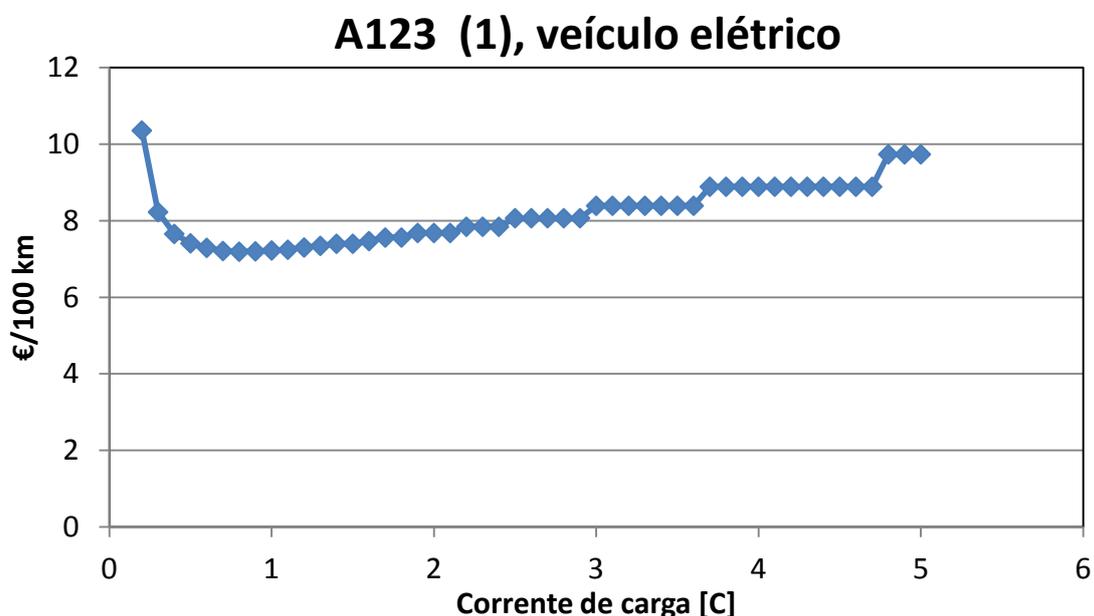


Fig. 45. Evolução do custo por 100 quilómetros com a corrente de carga da bateria A123 (1).

A Figura 46 apresenta a evolução do custo por 100 km de distância percorrida com a autonomia e com o custo da energia elétrica, para a bateria A123 (1). Observa-se que o custo por 100 km de distância percorrida diminui com a autonomia no intervalo de 19 km a 125 km e aumenta com a autonomia no intervalo de 125 km a 621 km, qualquer que seja o custo da unidade de energia elétrica. Observa-se também que o custo por 100 km de distância percorrida aumenta com o aumento do custo por unidade de energia elétrica. Observa-se que uma variação do custo por unidade de energia elétrica de 137,5% provoca somente uma variação de cerca de 20% no custo por 100 km de distância percorrida. Verifica-se esta variação devido ao fato do custo do sistema de propulsão ser preponderante no custo por 100 km de distância percorrida.

A123 (1), veículo elétrico

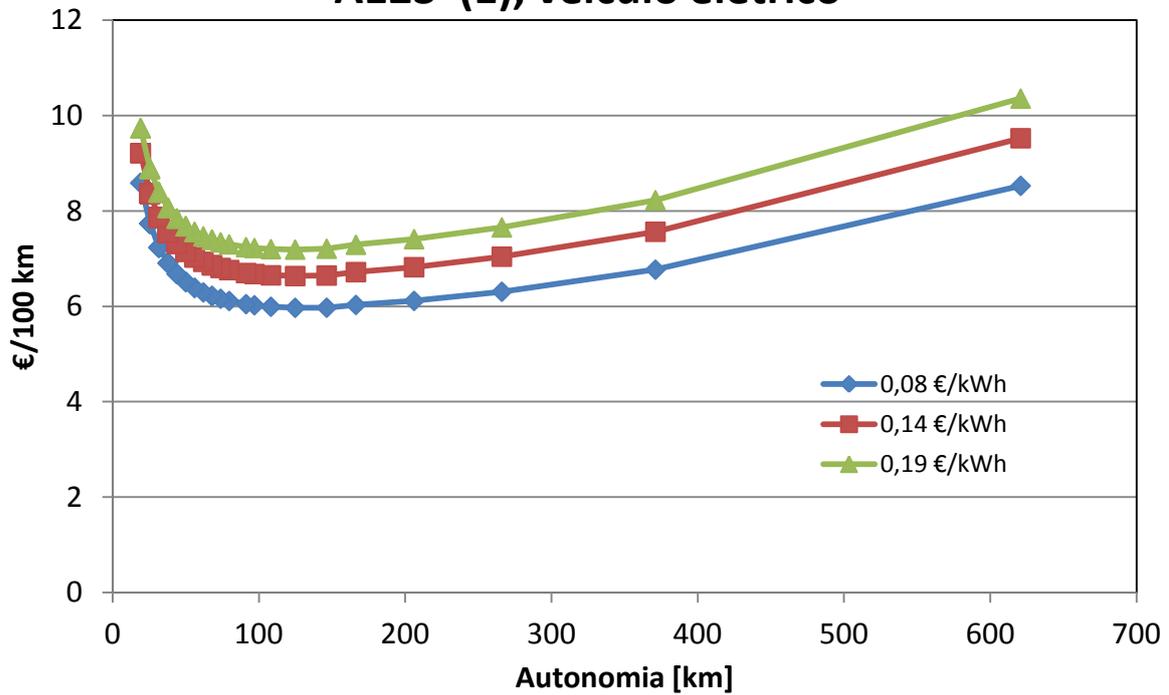


Fig. 46. Evolução do custo por 100 km com a autonomia e o custo da energia elétrica, para a bateria A123 (1).

A Figura 47 apresenta a evolução do custo por quilómetro e do custo do sistema de propulsão elétrico (CSPE) com a autonomia, aplicando a bateria A123 (2). Pela observação desta Figura conclui-se que o campo de aplicação prática situar-se-á entre a autonomia mínima de 80 km e máxima de 146 km, uma vez que este intervalo de autonomia proporciona um custo por unidade de distância percorrida baixo e CSPE baixo. Caso se pretenda uma autonomia mais elevada ter-se-á um custo por unidade de distância percorrida baixo mas o CSPE será elevado. Num intervalo de autonomia de 19 km a 80 km o CSPE será baixo e aumenta com a autonomia e o custo por unidade de distância percorrida será mais elevado mas diminui com a autonomia.

A123 (2), veículo elétrico

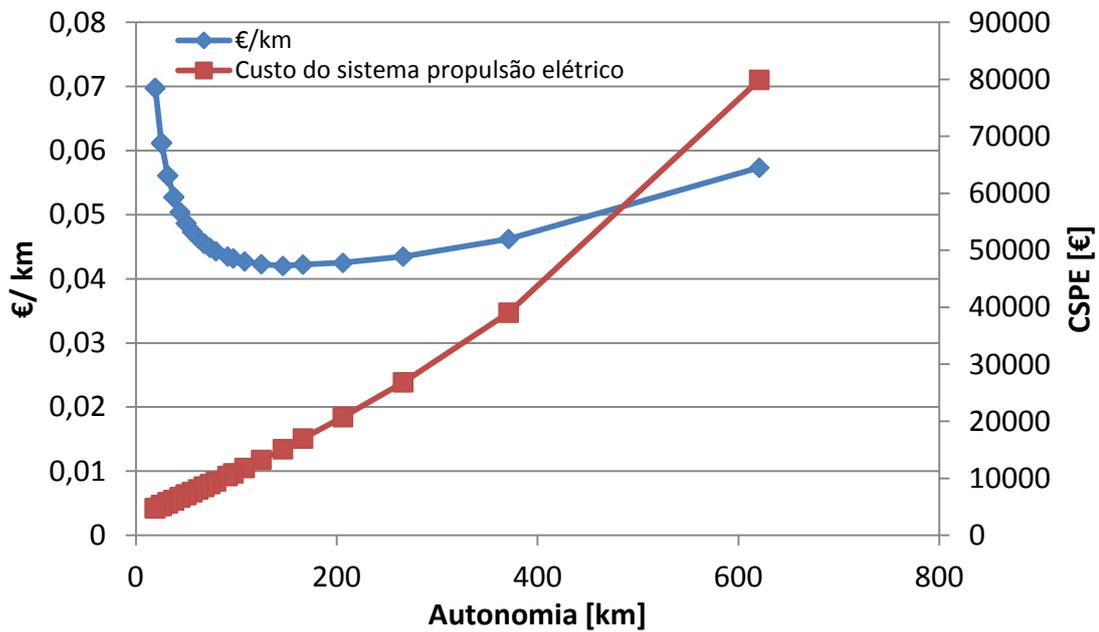


Fig. 47. Evolução do custo por quilômetro e do custo do sistema de propulsão elétrico com a autonomia, aplicando a bateria A123 (2).

A Figura 48 apresenta a evolução do custo por 100 quilômetros com a corrente de carga da bateria A123 (2). Pode-se observar uma diminuição do custo por distância percorrida com o aumento da corrente de carga de 0,2 C a 0,7 C e um aumento do custo por unidade de distância percorrida com o aumento da corrente de carga de 0,7 C a 5 C, sendo praticamente constante no intervalo de 0,5 C a 0,9 C.

A123 (2), veículo elétrico

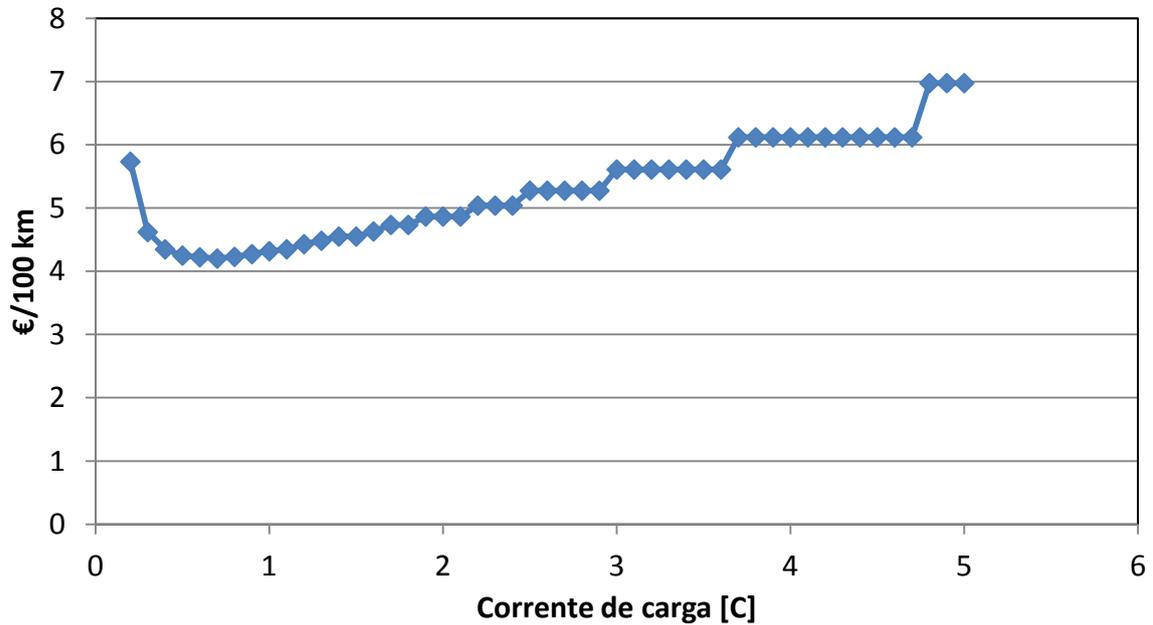


Fig. 48. Evolução do custo por 100 quilômetros com a corrente de carga da bateria A123 (2).

A Figura 49 apresenta a evolução do custo por 100 km de distância percorrida com a autonomia e com o custo da energia elétrica, para a bateria A123 (2). Observa-se que o custo por 100 km de distância percorrida diminui com a autonomia no intervalo de 19 km a 146 km e aumenta com a autonomia no intervalo de 146 km a 621 km, qualquer que seja o custo da unidade de energia elétrica. Observa-se também que o custo por 100 km de distância percorrida aumenta com o aumento do custo por unidade de energia elétrica. Observa-se que uma variação do custo por unidade de energia elétrica de 137,5% provoca somente uma variação de cerca de 42% no custo por 100 km de distância percorrida. Verifica-se esta variação devido ao fato do custo do sistema de propulsão ser preponderante no custo por 100 km de distância percorrida.

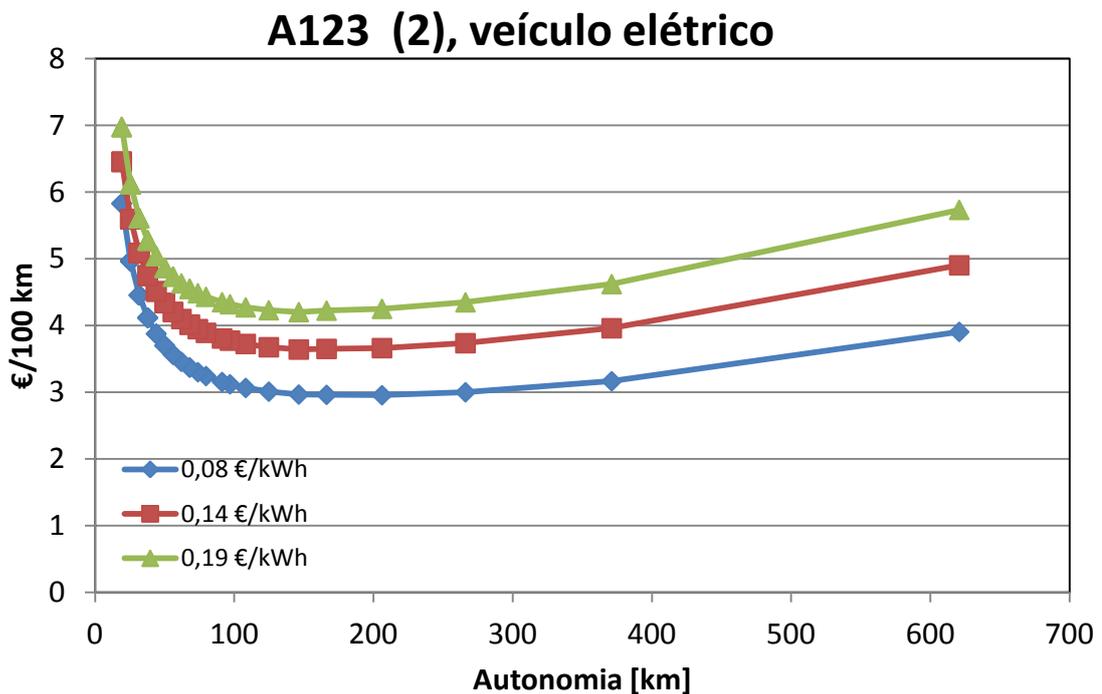


Fig. 49. Evolução do custo por 100 km com a autonomia e o custo da energia elétrica, para a bateria A123 (2).

A Figura 50 apresenta a evolução do custo por quilómetro e do custo do sistema de propulsão elétrico (CSPE) com a autonomia, aplicando a bateria *Thunder Sky*. Pela observação desta Figura conclui-se que o campo de aplicação prática situar-se-á entre a autonomia mínima de 144 km e máxima de 190 km, uma vez que este intervalo de autonomia proporciona um custo por unidade de distância percorrida baixo e CSPE baixo. Caso se pretenda uma autonomia mais elevada ter-se-á um custo por unidade de distância percorrida baixo mas o CSPE será elevado. Num intervalo de autonomia de 52 km a 190 km o CSPE será baixo e aumenta com a autonomia e o custo por unidade de distância percorrida será mais elevado mas diminui com a autonomia.

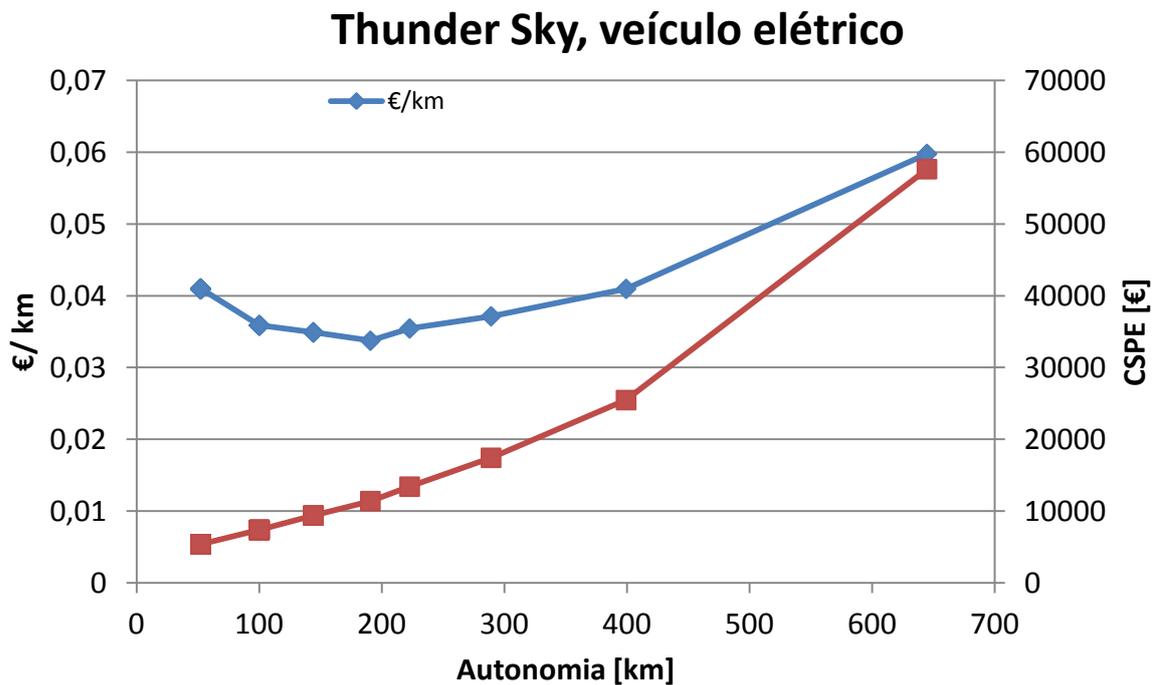


Fig. 50. Evolução do custo por quilómetro e do custo do sistema de propulsão elétrico com a autonomia, aplicando a bateria *Thunder Sky*.

A Figura 51 apresenta a evolução do custo por 100 quilómetros com a corrente de carga da bateria *Thunder Sky*. Pode-se observar uma diminuição do custo por distância percorrida com o aumento da corrente de carga de 0,2 C a 0,6 C e um aumento do custo por unidade de distância percorrida com o aumento da corrente de carga de 0,6 C a 5 C, sendo praticamente constante no intervalo de 0,4 C a 0,9 C.

Thunder Sky, veículo elétrico

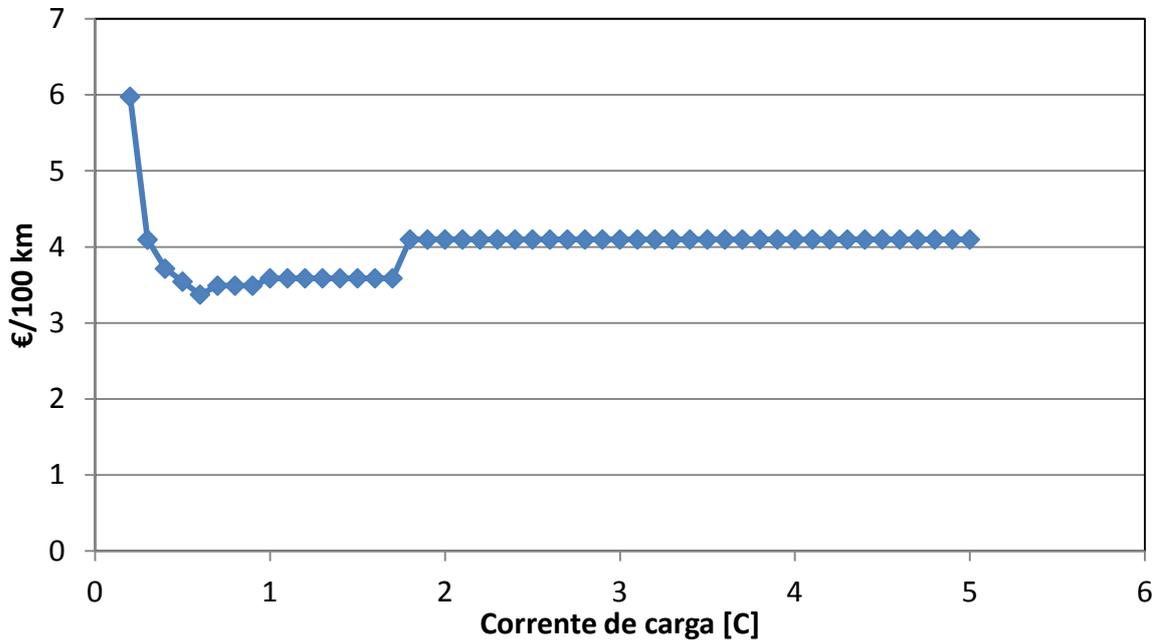


Fig. 51. Evolução do custo por 100 quilómetros com a corrente de carga da bateria *Thunder Sky*.

A Figura 52 apresenta a evolução do custo por 100 km de distância percorrida com a autonomia e com o custo da energia elétrica, para a bateria *Thunder Sky*. Observa-se que o custo por 100 km de distância percorrida diminui com a autonomia no intervalo de 52 km a 190 km e aumenta com a autonomia no intervalo de 190 km a 645 km, qualquer que seja o custo da unidade de energia elétrica. Observa-se também que o custo por 100 km de distância percorrida aumenta com o aumento do custo por unidade de energia elétrica. Observa-se que uma variação do custo por unidade de energia elétrica de 137,5% provoca somente uma variação de cerca de 60% no custo por 100 km de distância percorrida. Verifica-se esta variação devido ao fato do custo do sistema de propulsão ser preponderante no custo por 100 km de distância percorrida embora num grau muito inferior ao que acontece para os sistemas de propulsão com baterias A123 (1) e A123 (2).

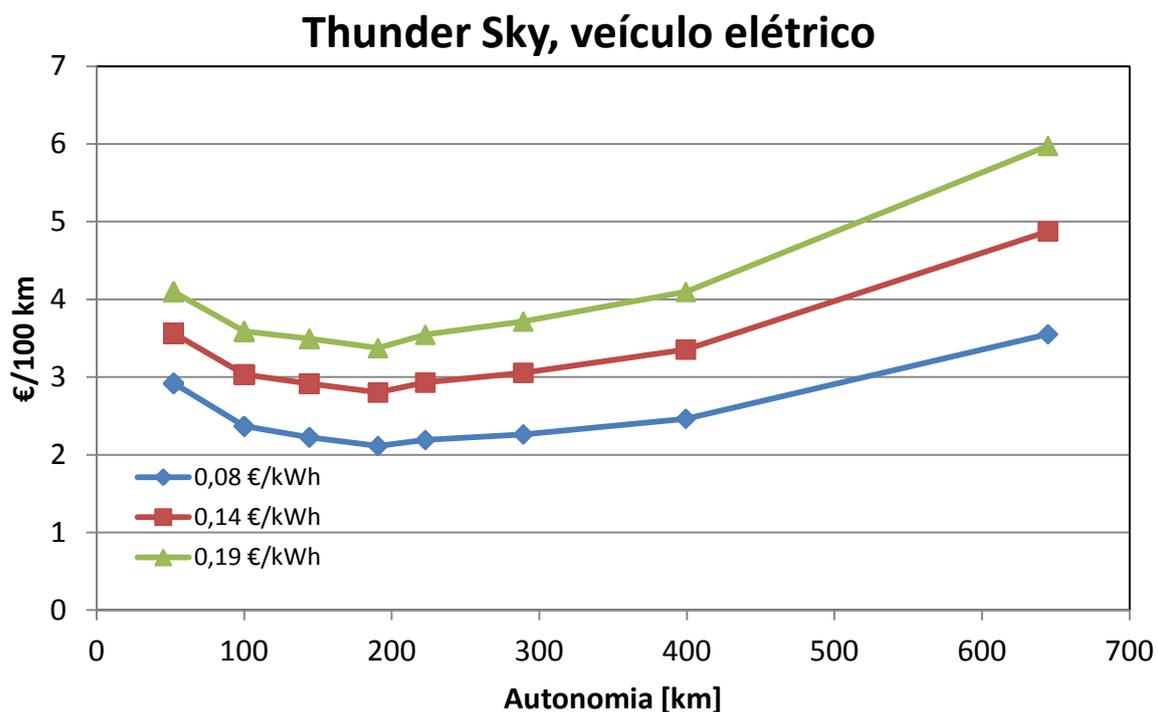


Fig. 52. Evolução do custo por 100 km com a autonomia e o custo da energia elétrica, para a bateria Thunder Sky.

A Figura 53 apresenta a evolução do custo por quilómetro e do custo do sistema de propulsão elétrico (CSPE) com a autonomia, aplicando a bateria *Winston Battery*. Pela observação desta Figura conclui-se que o campo de aplicação prática situar-se-á para uma autonomia mínima de 379 km, uma vez que esta autonomia proporciona um custo por unidade de distância percorrida baixo e CSPE baixo. Caso se pretenda uma autonomia mais elevada ter-se-á um custo por unidade de distância percorrida mais elevado e um CSPE mais elevado.

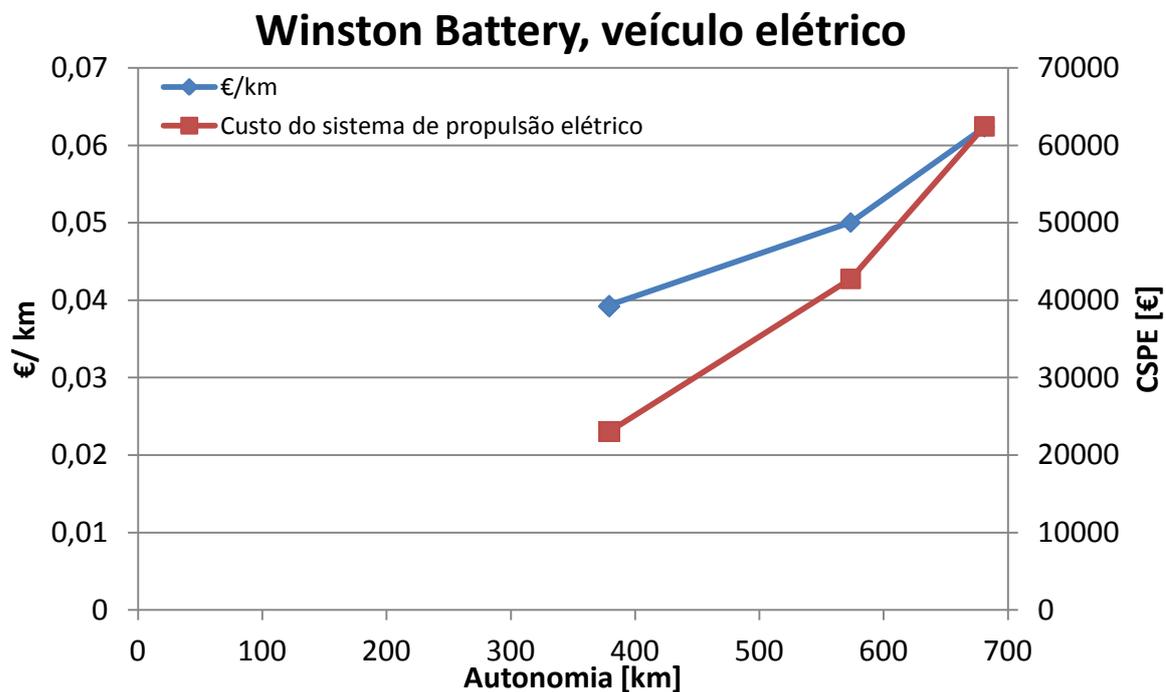


Fig. 53. Evolução do custo por quilómetro e do custo do sistema de propulsão elétrica com a autonomia, aplicando a bateria *Winston Battery*.

A Figura 54 apresenta a evolução do custo por 100 quilómetros com a corrente de carga da bateria *Winston Battery*. Pode-se observar uma diminuição do custo por distância percorrida com o aumento da corrente de carga de 0,2 C a 0,4 C e mantendo-se constante o custo por unidade de distância percorrida com o aumento da corrente de carga de 0,4 C a 5 C.

Winston Battery, veículo elétrico

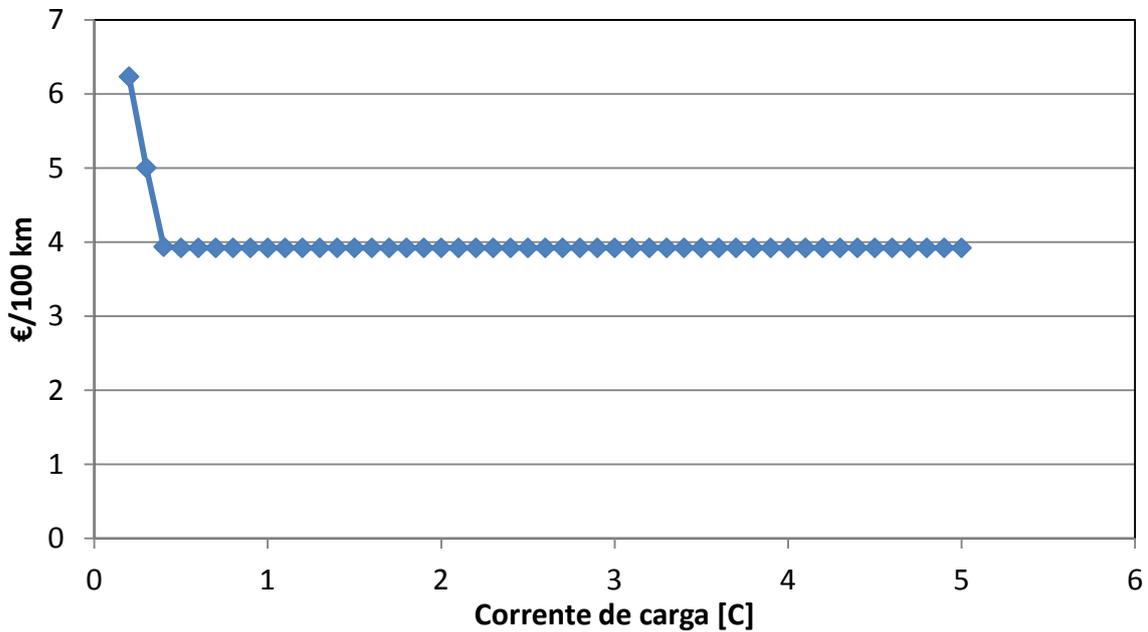


Fig. 54. Evolução do custo por 100 quilómetros com a corrente de carga da bateria *Winston Battery*.

A Figura 55 apresenta a evolução do custo por 100 km de distância percorrida com a autonomia e com o custo da energia elétrica, para a bateria *Winston Battery*. Observa-se que o custo por 100 km de distância percorrida aumenta com a autonomia no intervalo de 379 km a 681 km, qualquer que seja o custo da unidade de energia elétrica. Observa-se também que o custo por 100 km de distância percorrida aumenta com o aumento do custo por unidade de energia elétrica. Observa-se que uma variação do custo por unidade de energia elétrica de 137,5% provoca somente uma variação de cerca de 67% no custo por 100 km de distância percorrida. Verifica-se esta variação devido ao fato do custo do sistema de propulsão ser preponderante no custo por 100 km de distância percorrida embora num grau muito inferior ao que acontece para os sistemas de propulsão com baterias A123 (1) e A123 (2).

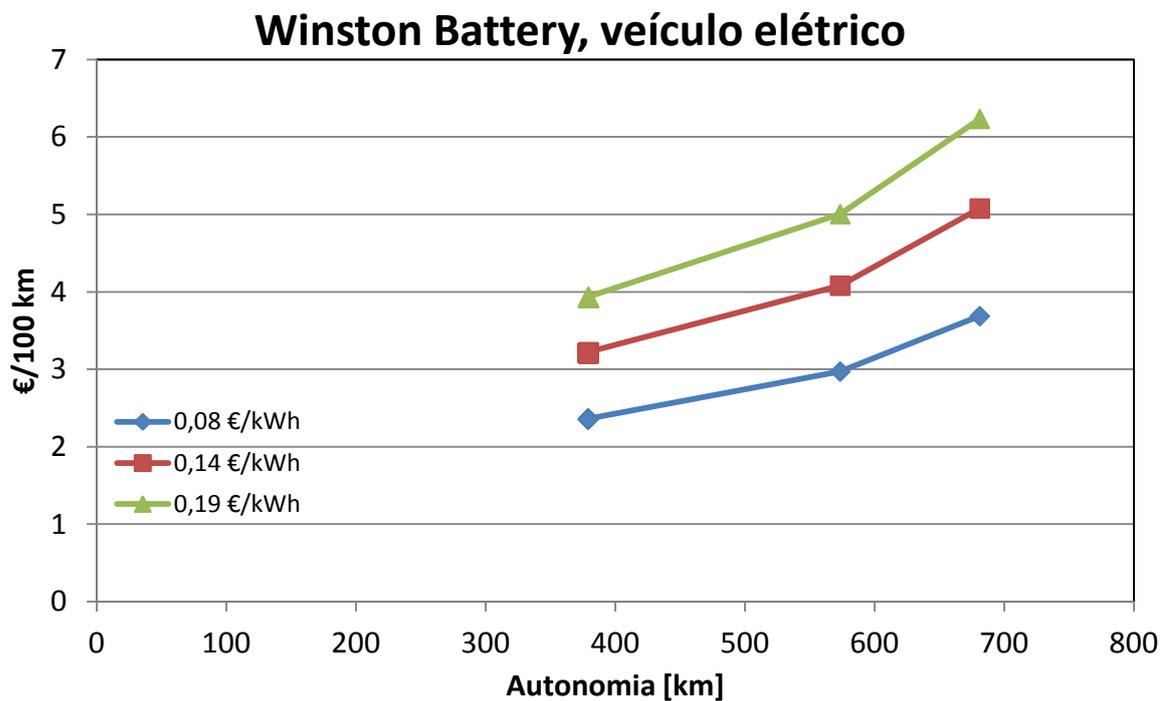


Fig. 55. Evolução do custo por 100 km com a autonomia e o custo da energia elétrica, para a bateria Winston Battery.

A Figura 56 apresenta a evolução do custo por quilómetro e do custo do sistema de propulsão elétrico (CSPE) com a autonomia, aplicando a bateria *Uniross*. Pela observação desta Figura conclui-se que o campo de aplicação prática situar-se-á entre a autonomia mínima de 87 km e máxima de 176 km, uma vez que este intervalo de autonomia proporciona um custo por unidade de distância percorrida baixo e CSPE baixo. Caso se pretenda uma autonomia mais elevada ter-se-á um custo por unidade de distância percorrida baixo mas o CSPE será elevado. Num intervalo de autonomia de 87 km a 176 km o CSPE será baixo e aumenta com a autonomia e o custo por unidade de distância percorrida será mais elevado mas diminui com a autonomia.

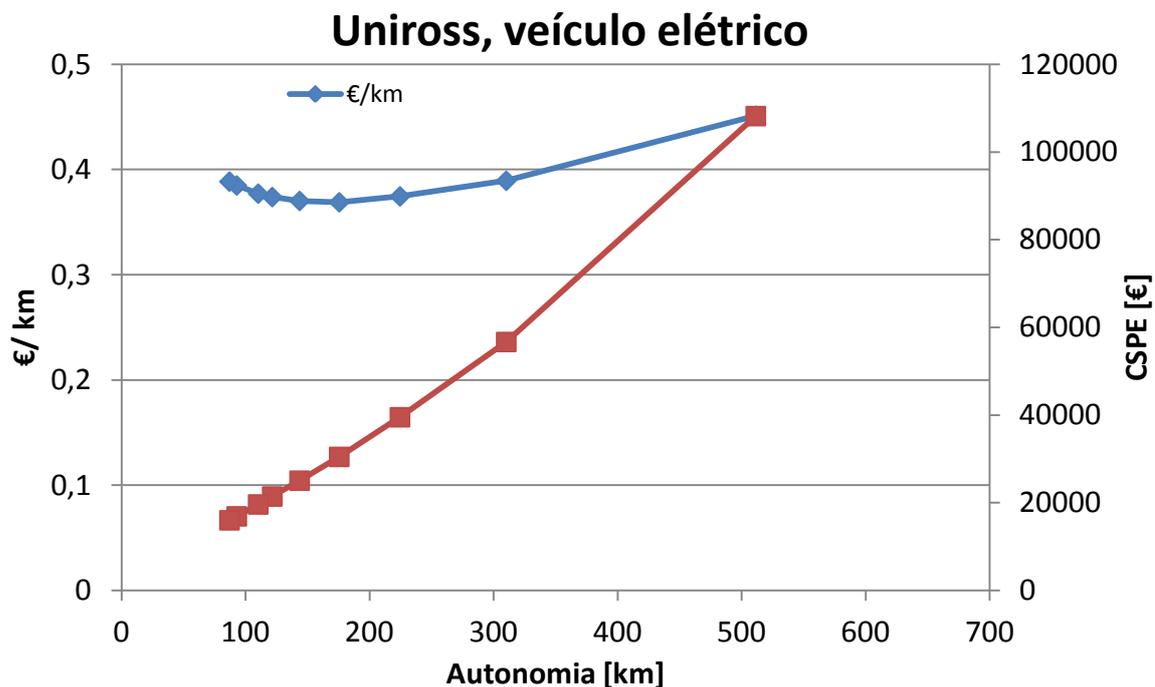


Fig. 56. Evolução do custo por quilómetro e do custo do sistema de propulsão elétrico com a autonomia, aplicando a bateria *Uniross 2700*.

A Figura 57 apresenta a evolução do custo por 100 quilómetros com a corrente de carga da bateria *Uniross*. Pode-se observar uma diminuição do custo por distância percorrida com o aumento da corrente de carga de 0,2 C a 0,5 C e um aumento do custo por unidade de distância percorrida com o aumento da corrente de carga de 0,5 C a 1 C, sendo praticamente constante no intervalo de 0,3 C a 1 C.

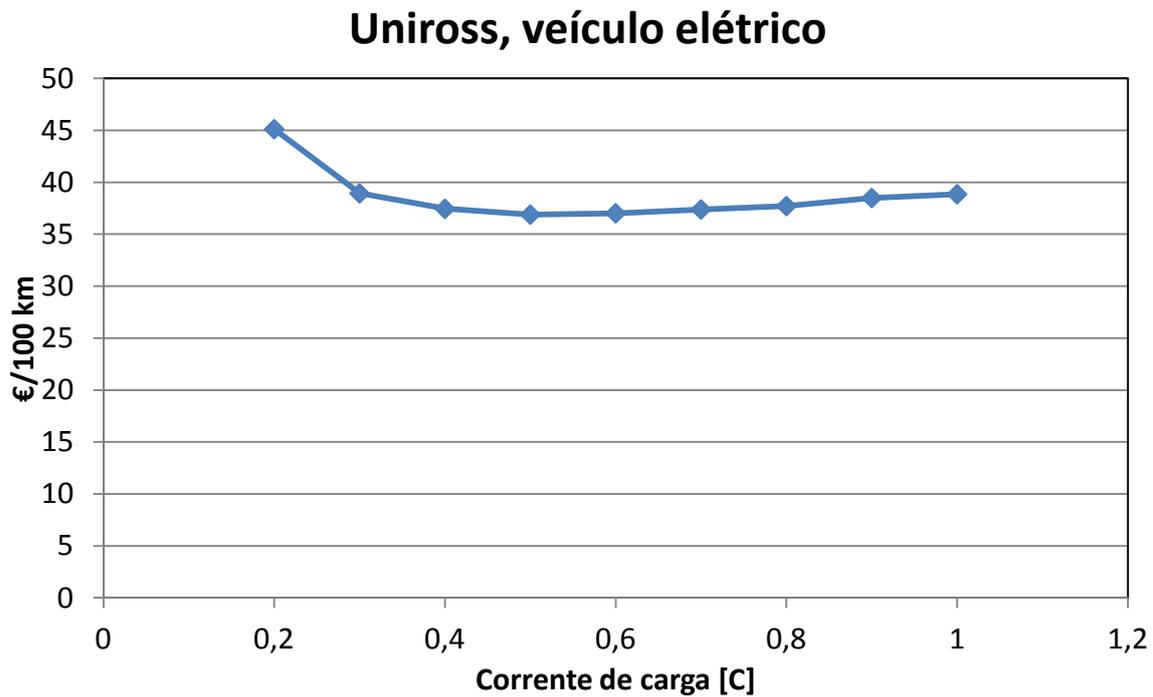


Fig. 57. Evolução do custo por 100 quilómetros com a corrente de carga da bateria *Uniross 2700*.

A Figura 58 apresenta a evolução do custo por 100 km de distância percorrida com a autonomia e com o custo da energia elétrica, para a bateria *Uniross*. Observa-se que o custo por 100 km de distância percorrida aumenta com a autonomia no intervalo de 175 km a 511 km, qualquer que seja o custo da unidade de energia elétrica. Observa-se também que o custo por 100 km de distância percorrida aumenta com o aumento do custo por unidade de energia elétrica. Observa-se que uma variação do custo por unidade de energia elétrica de 137,5% provoca somente uma variação de cerca de 3,5% no custo por 100 km de distância percorrida. Verifica-se esta variação devido ao fato do custo do sistema de propulsão ser dominante no custo por 100 km de distância percorrida, devido ao fato das baterias terem um custo por energia armazenada elevado e terem um número máximo de ciclos de carga e descarga baixo.

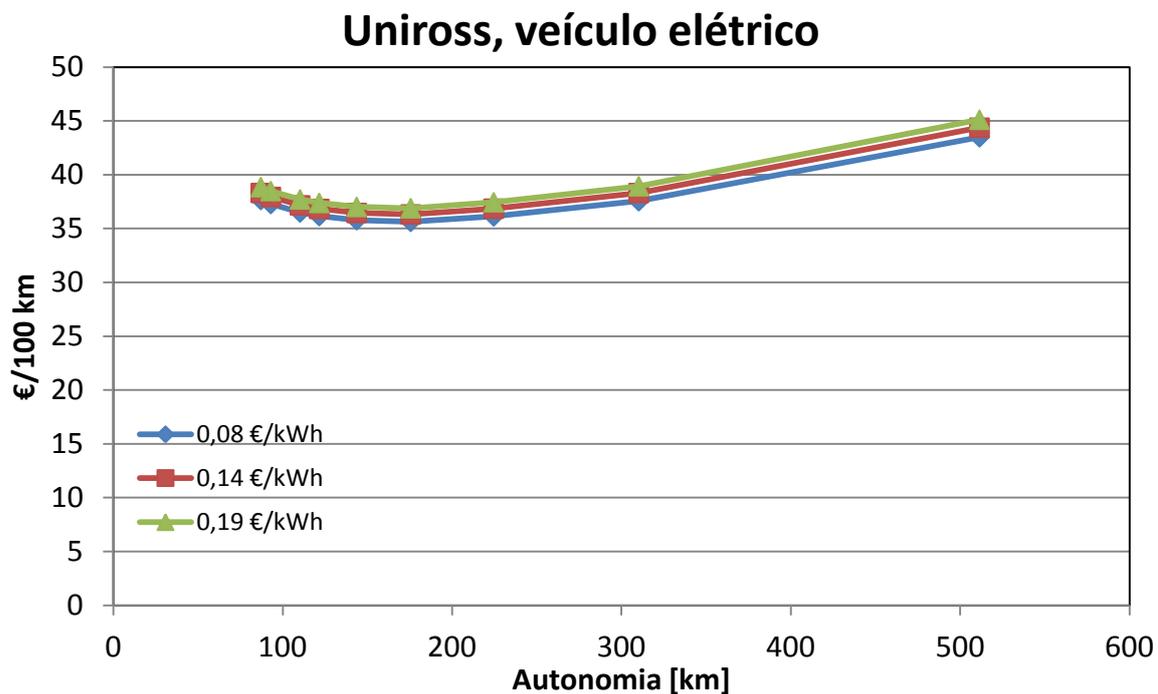


Fig. 58. Evolução do custo por 100 km com a autonomia e o custo da energia elétrica, para a bateria Uniross.

A Figura 59 apresenta a evolução do custo por quilómetro e do custo do sistema de propulsão elétrico (CSPE) com a autonomia, aplicando a bateria *Classic Enersol 100*. Pela observação desta Figura conclui-se que o campo de aplicação prática situar-se-á na autonomia mínima de 382 km, uma vez que esta autonomia proporciona um custo por unidade de distância percorrida baixo e CSPE baixo. Num intervalo de autonomia de 87 km a 176 km o CSPE será baixo e aumenta com a autonomia e o custo por unidade de distância percorrida será mais elevado mas diminui com a autonomia.

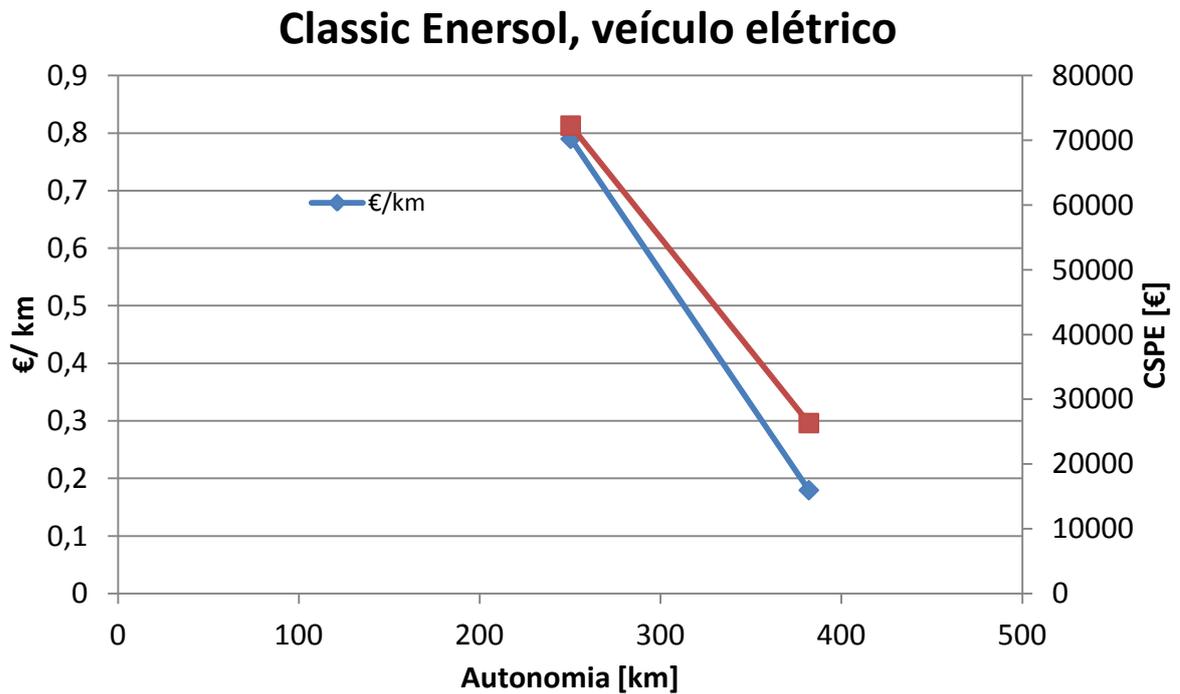


Fig. 59. Evolução do custo por quilómetro e do custo do sistema de propulsão elétrico com a autonomia, aplicando a bateria *Classic Enersol 100*.

A Figura 60 apresenta a evolução do custo por 100 quilómetros percorridos com a corrente de carga da bateria *Classic Enersol 100*. Pode-se observar a diminuição do custo por 100 quilómetros percorridos com o aumento da corrente de carga de 0,3 C a 0,4 C.

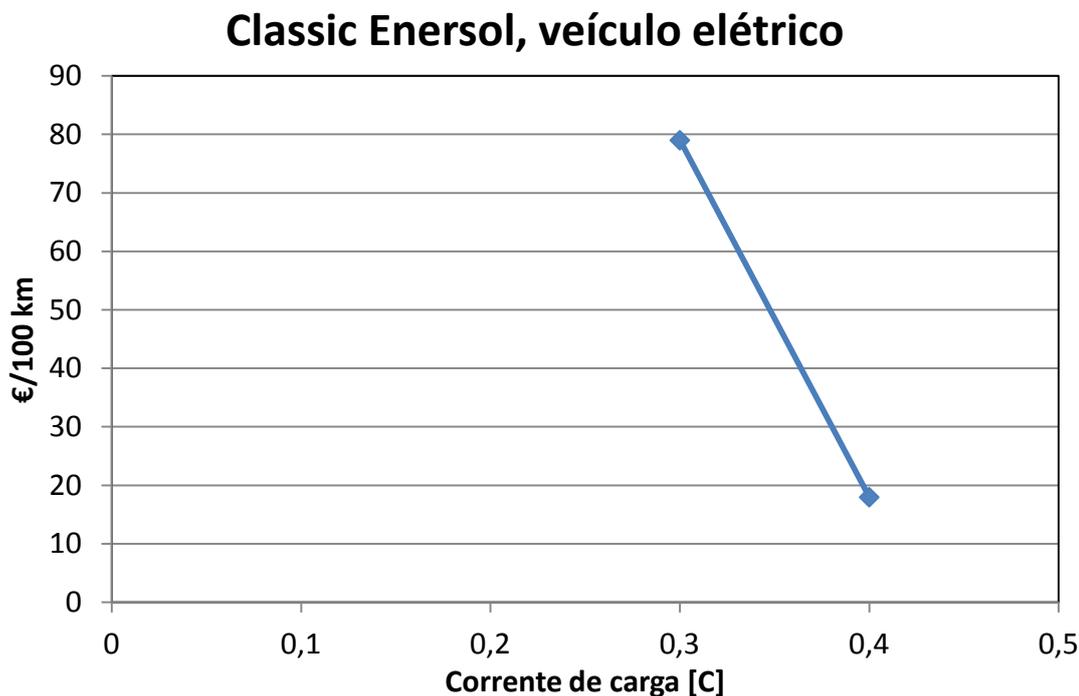


Fig. 60. Evolução do custo por 100 quilómetros com a corrente de carga da bateria *Classic Enersol 100*.

A Figura 61 apresenta a evolução do custo por 100 km de distância percorrida com a autonomia e com o custo da energia elétrica, para a bateria *Classic Enersol 100*. Observa-se que o custo por 100 km de distância percorrida diminui com a autonomia no intervalo de 250 km a 382 km, qualquer que seja o custo da unidade de energia elétrica. Observa-se também que o custo por 100 km de distância percorrida aumenta com o aumento do custo por unidade de energia elétrica. Observa-se que uma variação do custo por unidade de energia elétrica de 137,5% provoca somente uma variação de cerca de 15,6% no custo por 100 km de distância percorrida. Verifica-se esta variação devido ao fato do custo do sistema de propulsão ser dominante no custo por 100 km de distância percorrida, devido ao fato das baterias terem um custo por energia armazenada elevado e terem um número máximo de ciclos de carga e descarga baixo.

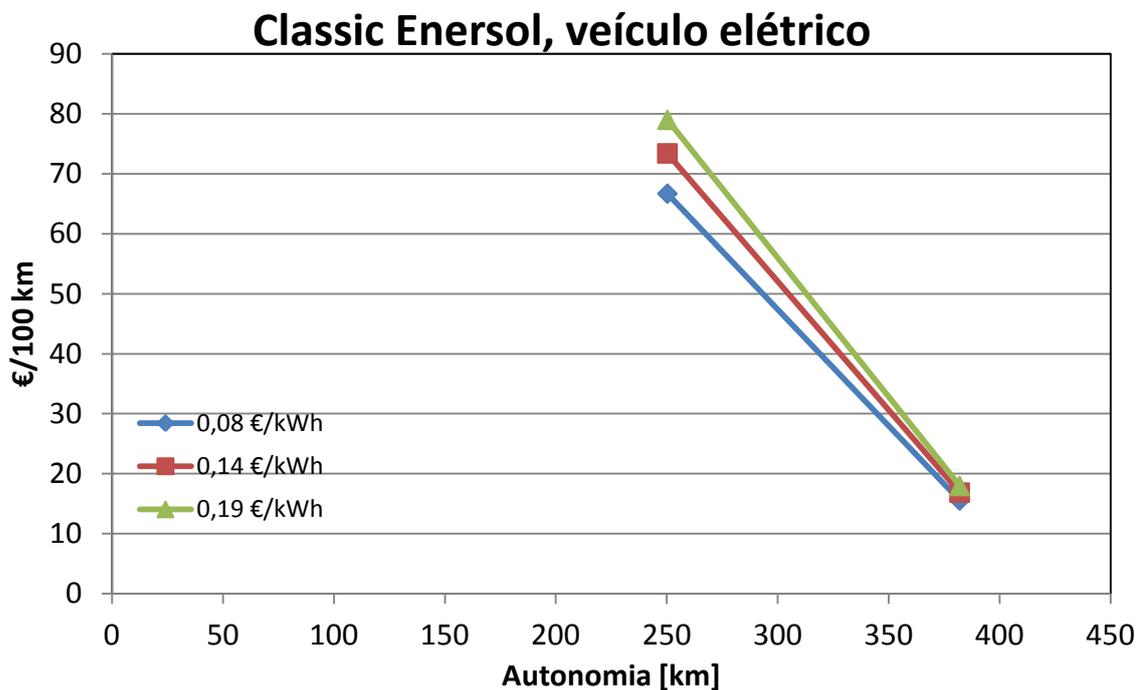


Fig. 61. Evolução do custo por 100 km com a autonomia e o custo da energia elétrica, para a bateria Classic Enersol 100.

A Tabela 12 apresenta os dados sobre os melhores modos de operação de carga para cada modelo bateria. Verifica-se que a bateria *Thunder Sky* apresentar o menor custo por distância percorrida, um investimento inicial reduzido. Em contra partida a bateria *Uniross* apresenta um custo por unidade de distância percorrida elevado devido ao elevado custo das baterias e ao reduzido número de ciclos de carga e descarga. Por sua vez, a bateria *Classic Enersol 100* é a bateria que apresenta a massa do sistema mais elevada, o que permite concluir que a sua aplicação em veículos elétricos puros não se torna viável.

Tabela 12. Dados sobre os melhores modos de operação de carga para cada modelo de bateria.

Veículo Elétrico Puro						
	A123 (1)	A123 (2)	Thunder Sky	Winston Battery	Uniross	Classic Enersol
€/km	0,072	0,042	0,034	0,039	0,369	0,180
Autonomia [km]	146,4	206,2	190,7	379,2	175,6	382,0
Custo [€]	37134	20752	11415	23070	30488	26343
Massa [kg]	282,8	367,6	409,0	843,3	318,1	2149,6
Volume [L]	87,1	129,0	183,1	510,1	59,3	829,0
€/100km	7,211	4,250	3,375	3,938	36,897	17,978
Corrente de Carga [C]	0,80	0,50	0,60	0,4 a 5,0	0,50	0,40
Distância de vida [km]	731824	1030760	953621	1896093	87796	191015

A Tabela 13 e a Figura 62 apresentam o custo mínimo por 100 quilómetros percorridos para cada bateria e para cada custo por unidade de energia elétrica. Salienta-se o elevado custo por 100 quilómetros percorridos das baterias *Uniross* e *Classic Enersol* 100 devido ao elevado custo das baterias e ao baixo número de ciclos de carga e descarga, sendo estes fatores mais preponderantes que a variação do custo por unidade de energia elétrica.

Tabela 13. Custo mínimo por 100 km percorridos para cada tipo de bateria e custo de energia elétrica.

Veículo Elétrico Puro						
	A123 (1)	A123 (2)	Thunder Sky	Winston Battery	Uniross	Classic Enersol
	€/100 km					
0,08 €/kWh	5,97	2,96	2,11	2,36	35,64	15,55
0,14 €/kWh	6,64	3,66	2,80	3,21	36,33	16,88
0,19 €/kWh	7,19	4,25	3,37	3,92	36,90	17,98

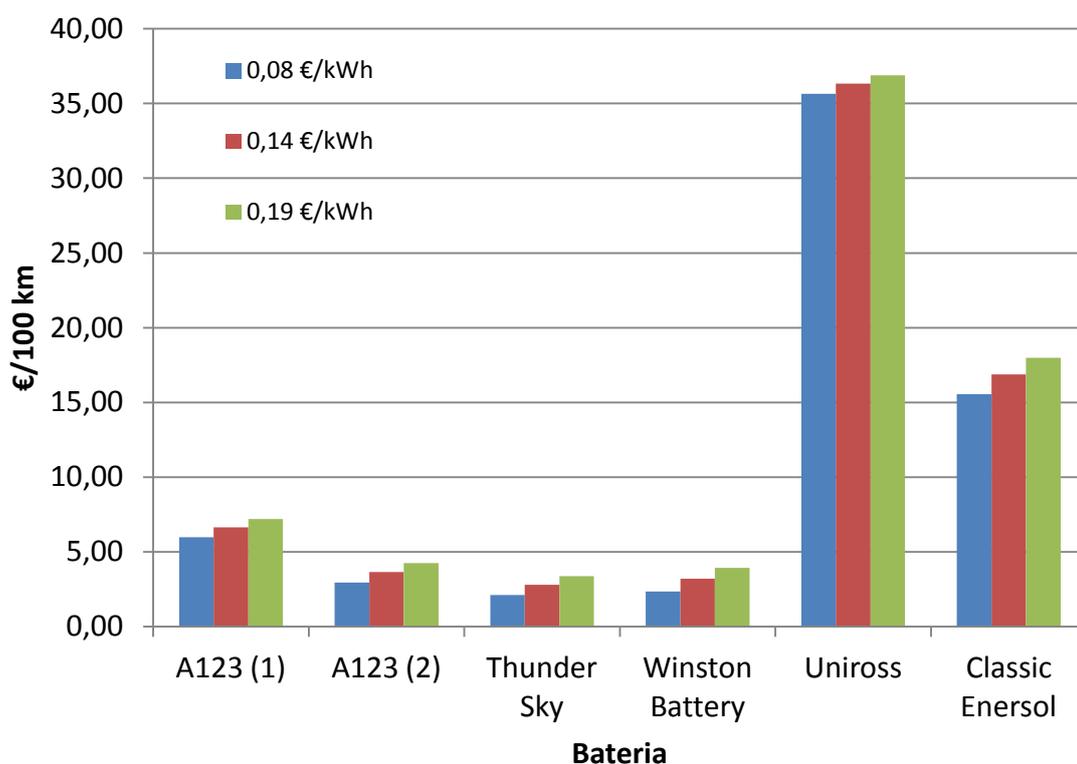


Fig. 62. Custo mínimo por 100 km percorridos para cada tipo de bateria e custo de energia elétrica.

6.2. Veículo híbrido elétrico

A Figura 63 apresenta a evolução da distância que é necessário percorrer para recuperar o investimento do sistema de propulsão elétrico no veículo híbrido elétrico, com baterias A123 (1). Verifica-se que o investimento mínimo no sistema de propulsão elétrico encontra-se para um intervalo de corrente de carga das baterias de 4,2C a 5C, tendo um custo de 8776 € e sendo necessário percorrer uma distância de 286700 quilómetros para recuperar o investimento no sistema de propulsão elétrico. Verifica-se ainda que à medida que a corrente de carga diminui será necessário percorrer uma maior distância para se recuperar o investimento, por exemplo, para 0,2 C ter-se-á que percorrer 572714593 quilómetros para recuperar o investimento.

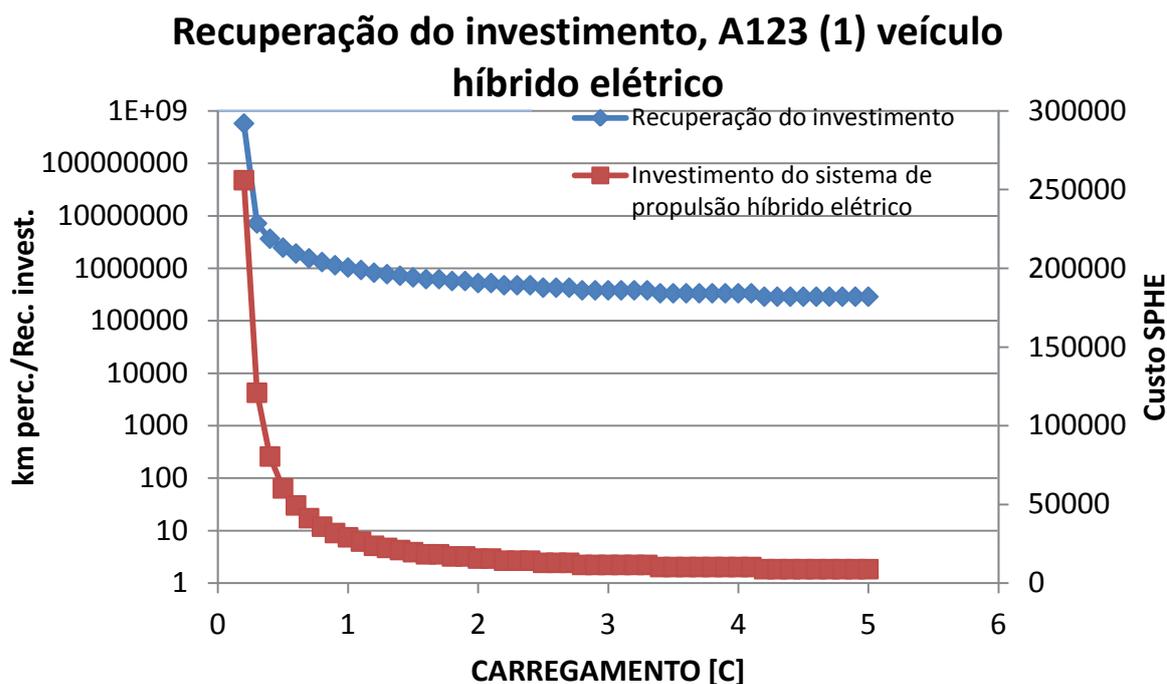


Fig. 63. Evolução da distância necessária percorrer para recuperar o investimento do SPE híbrido e análise do investimento no sistema SPE híbrido, com baterias A123 (1).

A Figura 64 apresenta a evolução da distância necessária percorrer para recuperar o investimento do sistema de propulsão elétrico no veículo híbrido elétrico, com baterias A123 (2). Verifica-se que o investimento mínimo no sistema de propulsão elétrico encontra-se para um intervalo de corrente de carga das baterias de 4,2C a 5C, tendo um custo de 5254 € e sendo necessário percorrer uma distância de 171618 quilómetros para

recuperar o investimento no sistema de propulsão elétrico. Verifica-se ainda que à medida que corrente de carga diminui será necessário percorrer uma maior distância para se recuperar o investimento, ou seja, a 0,2 C ter-se-á que percorrer 204112931 quilómetros para recuperar o investimento.

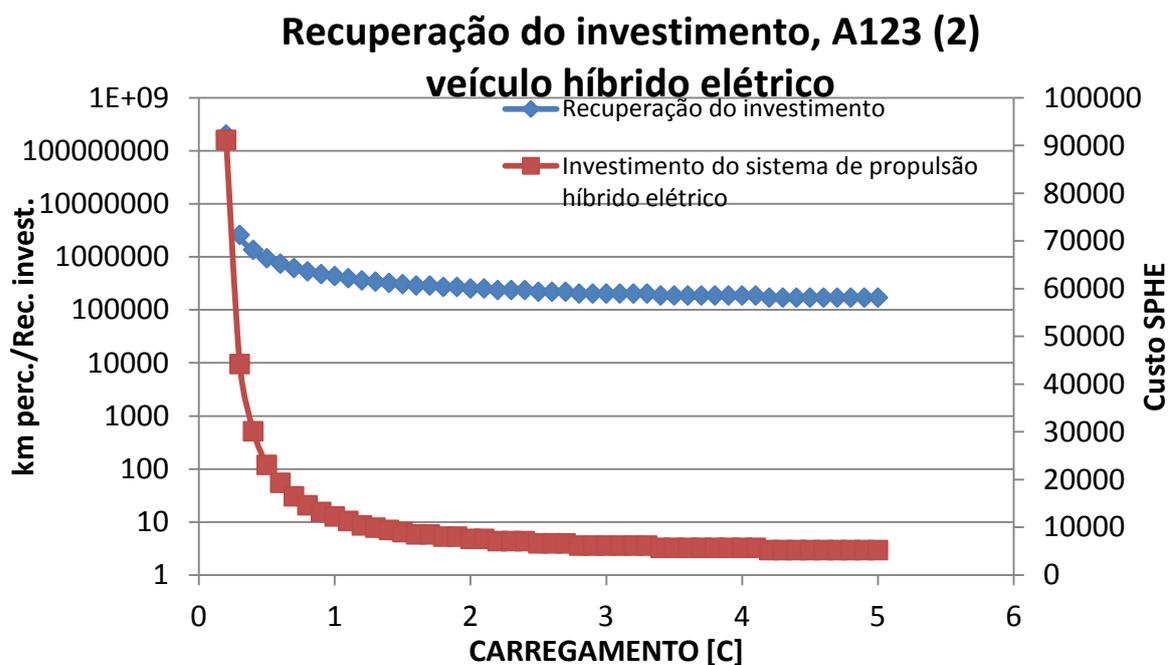


Fig. 64. Evolução da distância necessária para recuperar o investimento do SPE híbrido e análise do investimento no sistema SPE híbrido, com baterias A123 (2).

A Figura 65 apresenta a evolução da distância necessária percorrer para recuperar o investimento do sistema de propulsão elétrico no veículo híbrido elétrico, com baterias *Thunder Sky*. Verifica-se que o investimento mínimo no sistema de propulsão elétrico encontra-se num intervalo de carregamento das baterias de 2C a 5C, tendo um custo de 5385 € e sendo necessário percorrer uma distância de 182501 quilómetros para recuperar o investimento no sistema de propulsão elétrico. Verifica-se ainda que à medida que corrente de carga diminui será necessário percorrer uma maior distância para se recuperar o investimento, ou seja, a 0,2C não é recuperável o investimento efetuado no sistema de propulsão elétrico, sendo passível de recuperação do investimento a partir de uma corrente de carga de 0,3C.

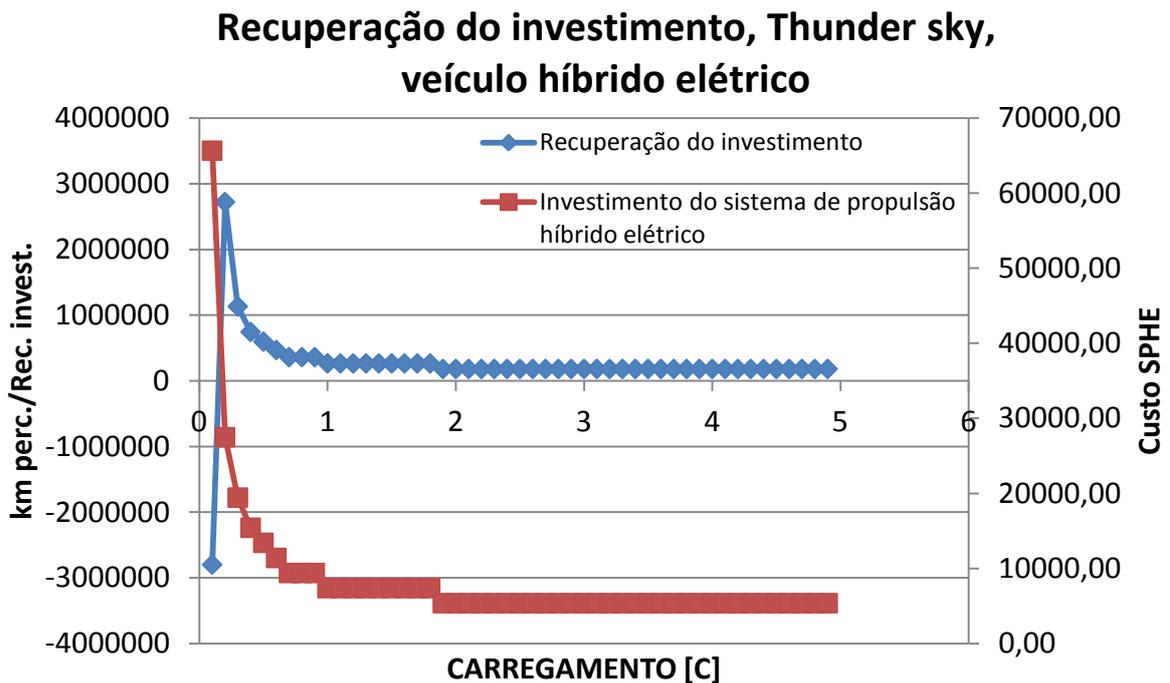


Fig. 65. Evolução da distância necessária para recuperar o investimento do SPE híbrido e análise do investimento no sistema SPE híbrido, com baterias *Thunder Sky*.

A Figura 66 apresenta a evolução da distância necessária percorrer para recuperar o investimento do sistema de propulsão elétrico no veículo híbrido elétrico, com baterias *Winston Battery*. Verifica-se que o investimento mínimo no sistema de propulsão elétrico encontra-se num intervalo de carregamento das baterias de 0,4C a 5C, tendo um custo de 23070 € e sendo necessário percorrer uma distância de 21583348 quilómetros para recuperar o investimento no sistema de propulsão elétrico. Verifica-se ainda que à medida que corrente de carga diminui será necessário percorrer uma maior distância para se recuperar o investimento, ou seja, a 0,2C e a 0,3C não é recuperável o investimento efetuado no sistema de propulsão elétrico, sendo passível de recuperação do investimento a partir de uma corrente de carga de 0,4C.

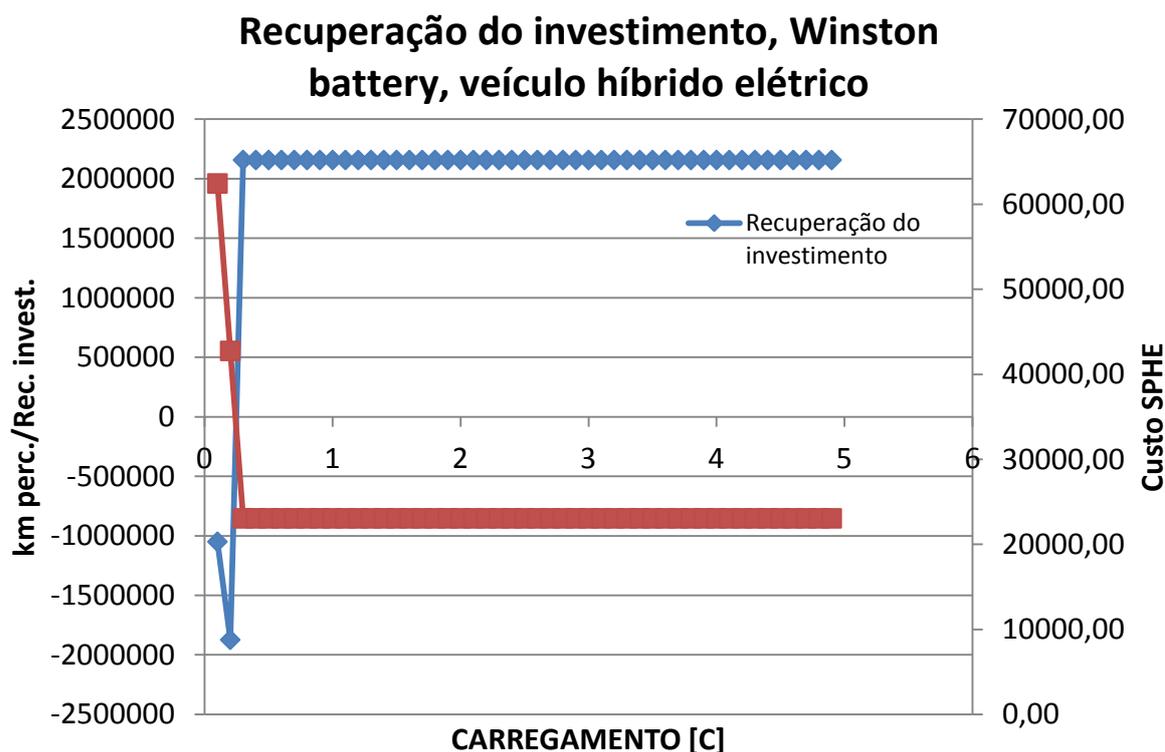


Fig. 66. Evolução da distância necessária para recuperar o investimento do SPE híbrido e análise do investimento no sistema SPE híbrido, com baterias *Winston Battery*.

A Figura 67 apresenta a evolução da distância necessária percorrer para recuperar o investimento do sistema de propulsão elétrico no veículo híbrido elétrico, com baterias *Uniross*. Verifica-se que o investimento mínimo no sistema de propulsão elétrico encontra-se para um carregamento das baterias a 5C, tendo um custo de 17835 € e sendo necessário percorrer uma distância de 622821 quilómetros para recuperar o investimento no sistema de propulsão elétrico. Verifica-se ainda que à medida que corrente de carga diminui será necessário percorrer uma maior distância para se recuperar o investimento, ou seja, a 0,2 C ter-se-á que percorrer 13193103 quilómetros.

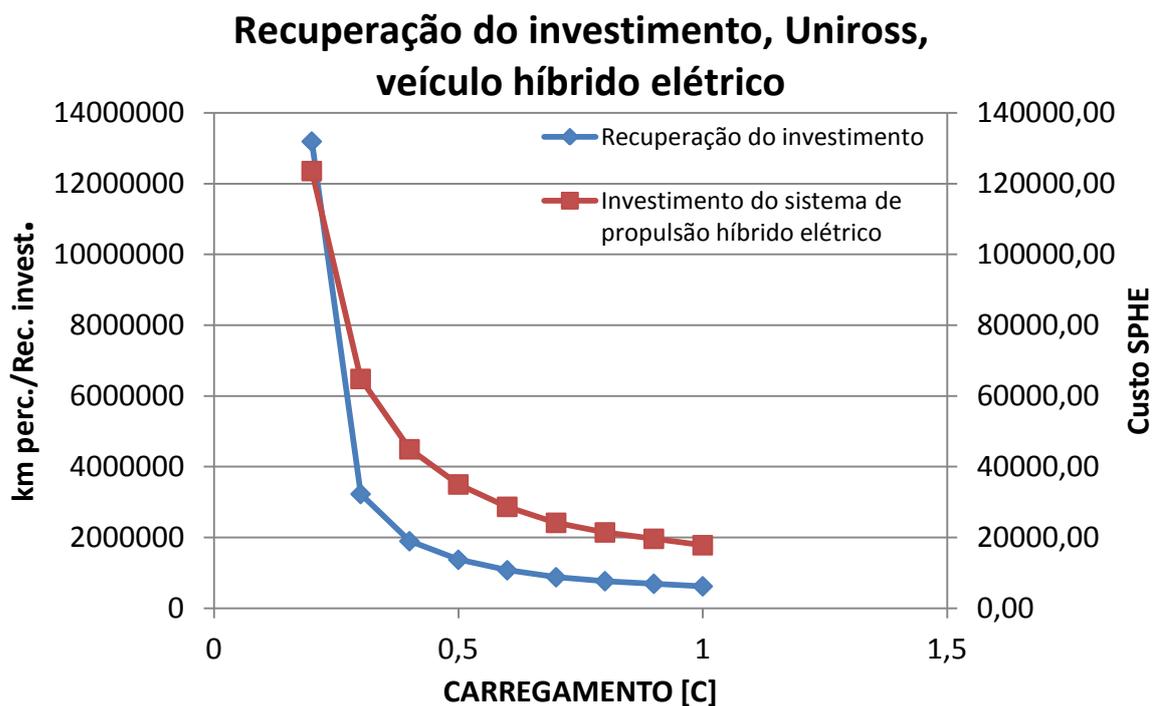


Fig. 67. Evolução da distância necessária para recuperar o investimento do SPE híbrido e análise do investimento no sistema SPE híbrido, com baterias *Uniross 2700*.

A Figura 6 apresenta a evolução da distância necessária percorrer para recuperar o investimento do sistema de propulsão elétrico no veículo híbrido elétrico, com baterias *Uniross*. Verifica-se que a aplicação de baterias de chumbo no sistema de propulsão elétrico não se torna viável, não sendo possível recuperar o investimento efetuado durante o período de carga e descarga admissível pela bateria. Os fatores relevantes no comportamento das baterias são a elevada massa que estas possuem, a baixa corrente de carga admissível pela bateria.

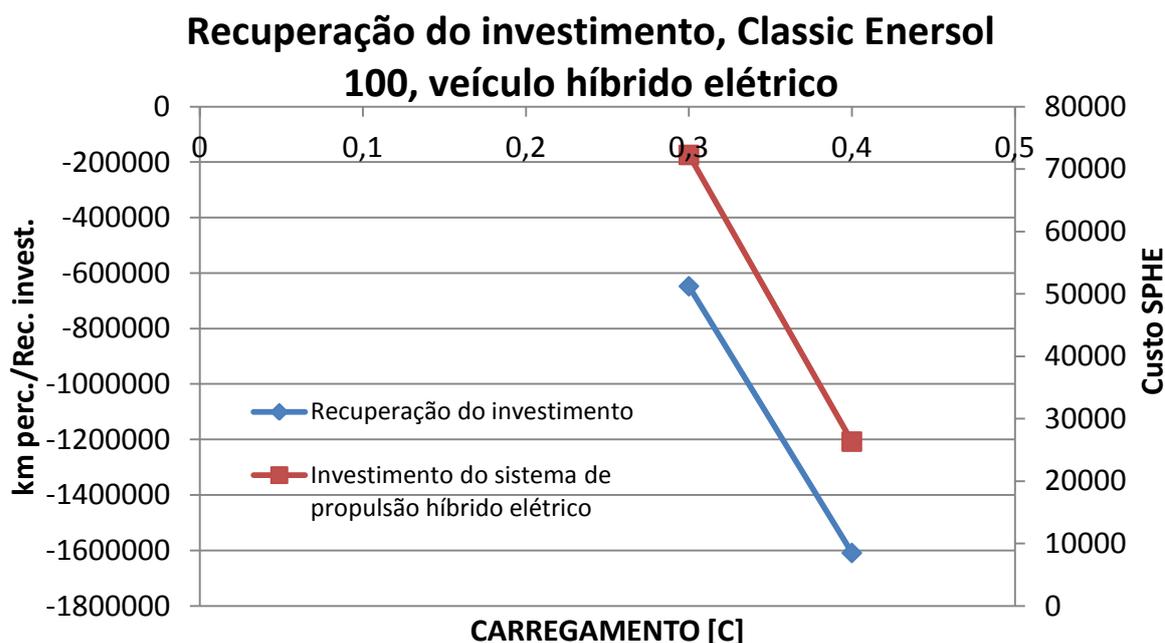


Fig. 68. Evolução da distância necessária para recuperar o investimento do SPE híbrido e análise do investimento no sistema SPE híbrido, com baterias *Classic Enersol 100*.

A Tabela 14 representa a distância mínima a percorrer para recuperar o investimento efetuado no sistema de propulsão elétrico, com uma corrente de carga a 5C para as baterias de LiFePO_4 , com uma corrente de carga a 1C para a bateria de NimH e uma corrente de carga a 0,4C para a bateria de chumbo. Verifica-se que a distância mínima a efetuar para se recuperar o investimento será efetuada pela bateria A123 (2), sendo apenas necessário percorrer 171618 quilômetros.

Tabela 14. Distância mínima a percorrer para recuperar o investimento no SPE, carga a 5C para as baterias LiFePO_4 , carga a 1C para bateria NimH e carga a 0,4C para bateria de chumbo.

Veículo híbrido elétrico						
	A123 (1)	A123 (2)	Thunder Sky	Winston Battery	Uniross	Classic Enersol
Distância p/ recuperar o inv. [km]	286700	171618	182501	2158348	622821	-1608606

7. CONCLUSÕES E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Como objetivo principal, a execução desta Dissertação de Mestrado pretendia determinar algumas variáveis que influenciariam o comportamento das baterias quer à carga quer à descarga. A primeira análise efetuada, incidia sobre a densidade de energia, energia específica e potência específica das baterias. Esta análise permitiu determinar quais os tipos de baterias que poderiam ser mais determinantes na análise a efetuar. As baterias de lítio fosfato de ferro foram as que apresentavam melhores resultados e características geométricas, que indiciavam uma boa aplicação a veículos híbridos elétricos e veículos elétricos puros. Desde logo optou-se por escolher quatro baterias de lítio fosfato de ferro, que variavam nas suas características internas, optou-se por uma bateria de níquel hidretos metálicos, visto ser uma referência atual na aplicação de veículos híbridos elétricos e veículos elétricos e optou-se por uma bateria de chumbo, sendo uma possível opção a aplicar (apesar da sua elevada massa).

A limitação da corrente de carga máxima admissível para cada bateria, determina a autonomia mínima do veículo.

Outro fator que influencia a corrente de carga ótima para cada bateria é o preço unitário da bateria. Nas baterias escolhidas, duas delas são exatamente o mesmo modelo, variando somente o preço por unidade. De acordo com a simulação numérica, a corrente de carga ótima para cada bateria é diferente, sendo para a bateria A123 (1) (bateria mais cara) a corrente de carga ótima de $0,7C$ e para a bateria A123 (2) (bateria mais barata) a corrente de carga ótima de $0,5C$ (Caso referente ao veículo elétrico puro).

Outro fator importante é o número máximo de ciclos de carga e descarga que cada bateria pode suportar. Mesmo que uma bateria seja mais cara, se possuir um número máximo de ciclos de carga e descarga elevado, permitirá uma amortização superior.

A autonomia de cada bateria, Tabela 11, também se revelou importante, pois quando se multiplica a autonomia do veículo, com baterias de um dado tipo, pelo número de ciclos de carga e descarga da bateria, obtemos a autonomia global que o sistema poderá realizar. Neste parâmetro as baterias de lítio fosfato de ferro apresentam valores elevados.

A aplicação de um sistema de gestão das baterias também surge como peça fundamental na durabilidade das mesmas, pois o controlo da corrente de carga e descarga

das baterias permitirá controlar a temperatura de funcionamento das mesmas e consequentemente a sua durabilidade.

Na generalidade, as baterias de lítio fosfato de ferro e as baterias de níquel hidretos metálicos, possuem um intervalo de corrente de carga entre os 0,5C e 1,0C em que não se altera significativamente o custo por unidade de distância percorrida pelo veículo elétrico puro.

No veículo híbrido elétrico, a aplicação das baterias tornou-se meramente um processo de controlo do consumo do motor de combustão interna. O ordenamento do funcionamento do motor elétrico, só era permitido até que o veículo conseguisse recuperar energia de travagem (convertida em energia elétrica), ou seja, não era necessário introduzir energia elétrica no sistema, através de uma outra fonte de energia. Assim, os cálculos efetuados sobre este modo de propulsão foi meramente sobre a possibilidade de recuperar o investimento efetuado no sistema de propulsão elétrico aplicado no veículo híbrido. A estabilização do estado da corrente de carga das baterias situa-se a partir da corrente de carga de 1C, para as baterias de lítio fosfato de ferro e de 0,5C até 1C para as baterias de níquel hidretos metálicos. No melhor dos casos, para se recuperar o investimento, o carregamento das baterias terá que ser efetuado a 5C e percorrer 171618,40 km, sendo esta a bateria A123 (2).

Durante a análise efetuada no programa de simulação numérica, na seção da energia recuperada, por vezes a massa das baterias era elevada, principalmente a corrente de carga mais baixas. Dado que o sistema dimensiona as baterias para que estas suportem as cargas da energia recuperada, isto aumentava bastante a massa do veículo. Essa massa ia influenciar a energia recuperada na travagem, permitindo prolongar o funcionamento do motor elétrico durante mais tempo no percurso.

Durante o projeto surgiram algumas dificuldades que induzem a procura de soluções mais eficazes em próximos estudos. Uma delas é a metodologia de trabalho com o programa de modelação, que se torna muito cansativa devido a executar-se o trabalho num processo iterativo, o que poderá ocasionar falhas. Aplicar todo este modelo de cálculo a outra linguagem de programação ajudaria a melhorar o trabalho, bem como pesquisar a influência de novas variáveis ou até mesmo determinar qual a combinação mais económica de acionamento do veículo pelos motores elétrico e de combustão interna num veículo híbrido elétrico.

Em suma, a aplicação de baterias de lítio fosfato de ferro, de entre as estudadas, torna-se a melhor opção, sendo a bateria A123 (2) a opção mais racional num veículo de aplicação citadina. Na escolha entre um veículo híbrido elétrico ou um veículo elétrico puro, a opção mais racional recairá no veículo elétrico puro, pois o veículo híbrido elétrico necessita de um período de tempo para recuperação do investimento bastante elevado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Pita, H. J. T. (2011), “Projecto de Um Motor de Combustão Interna para Um Veículo Automóvel Utilitário”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Automóvel, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Setembro de 2011.
- Carvalheira, P. (2010), “Programa de modelação do New European Driving Cycle para cálculo do consumo de combustível, emissões de CO₂ e consumo de energia eléctrica para veículos automóveis com sistema de propulsão com motor de combustão interna, híbrido eléctrico e eléctrico puro”, desenvolvido para a unidade curricular “Sistemas de Propulsão Alternativos”, Mestrado em Engenharia Automóvel, Departamento de Engenharia Mecânica-FCTUC.
- Kojima T., Ishizu T., Horiba T., Yoshikawa M., (2009), “Development of Lithium Ion Battery for Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle Application”, J. of Power Sources 189 (2009) 859-863.
- Bosch, R. (2005), “Manual de Tecnologia Automotiva”, 25ª Ed., Edgard Blucher Ltda.
- Dhameja, S. (2002), “Electric Vehicle Battery Systems”, Editora News.
- Kiehne, H. A. (2003), “Battery Technology Handbook”, 2ª Ed., Marcel Dekker, Inc.
- Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S. E., Emadi, A. (2005), “Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicle”, CRC Press.
- Larminie, J., Dicks, A. (2003), “Fuel Cell Systems Explained”, 2ª Ed., John Wiley & Sons.
- Semanário 8 a 14 de Março, (2012), Revista “Autofoco”, 624, 28-29.
- Imax (2007), “Imax B6 Instruction Manual”, Acedido a 03 de Setembro de 2012, <https://astecmodels.co.uk/pdfs/Imax-B6%20manual.pdf>.
- Carvalheira, P. (2011), “Sistemas de Propulsão Alternativos, Mestrado em Engenharia Automóvel”, Departamento de Engenharia Mecânica-FCTUC.

Reid, C. (2007), “Lithium Iron Phosphate Cell Performance Evaluations for Lunar Extravehicular Activities”, NASA Glenn Research Center 10th Electrochemical Power Sources R&D Symposium Williamsburg, VA.

A123 Systems (2007), “Development of battery packs for space applications”, NASA Aerospace Battery Workshop, Acedido a 25 de Junho de 2012, https://batteryworkshop.msfc.nasa.gov/presentations/11_Dev_Batt_Packs_Space_Appl_DCarmen.pdf

Wixom, M., Mani, S., Xu, C., Huang, B., Less, G., Silkowski, C., (2007) “Lithium Iron Phosphate Applications in Space Power Batteries”, T/J Technologies, Inc., Ann Arbor, MI 2007.

Sanyo (2008), “Sanyo Twicell”, Sanyo Electric Co., Ltd, Acedido a 23 de Junho de 2012, http://www.rcmicro.es/pdf/catalogos/SANYO_nimh.pdf.

Winston Battery (2011), “Winston Battery”, Winston Battery, Acedido a 23 de Junho de 2012, <http://en.winston-battery.com/index.php/products/power-battery>.

Directiva 91/441/CEE do Parlamento Europeu e do Conselho de 26 de Junho de 1991.

Panasonic (2005), “Valve-Regulated Lead Acid Batteries: Individual Data Sheet LP-R127R2P”, VRLA Batteries.

A123 Systems (2011), “Nanophosphate High Power Lithium Ion Cell ANR26650 M1-B”, A123 Systems, Inc, Acedido a 23 de Junho de 2012, <http://www.endrich.com.tw/html/ezcatfiles/i-web17/img/img/25755/A123Datashet26650M1B.pdf>.

Chevrolet (2012), Catálogo “Novo Chevrolet Volt”, Chevrolet Portugal.

Renault (2012), Catálogo “Renault Fluence”, Renault Portugal.

Smart (2012), Catálogo “Smart Electric Drive”, Smart Portugal.

Enciclopédia Wikipédia, Renault Fluence, Acedido a 20 de Agosto de 2012 http://es.wikipedia.org/wiki/Nissan_Leaf.

Veeco RT, Acedido a 15 de Agosto de 2012, http://www.veeco.pt/veeco_012.htm.

Toyota, Acedido a 25 de Agosto de 2012, <http://www.toyota.pt/>.

DHgate Factory, acedido a 3 de Maio de 2012, <http://factory.dhgate.com/motorcycle-motor/20kw-40kw-brushless-dc-motor-p43236809.html>.

Alibaba, acedido a 3 de Maio de 2012, <http://portuguese.alibaba.com/product-gs/three-phase-20kw-output-solar-grid-tie-inverter-442580908.html>.

ANEXO A

+ Nanophosphate[®] High Power Lithium Ion Cell ANR26650*m1-B*



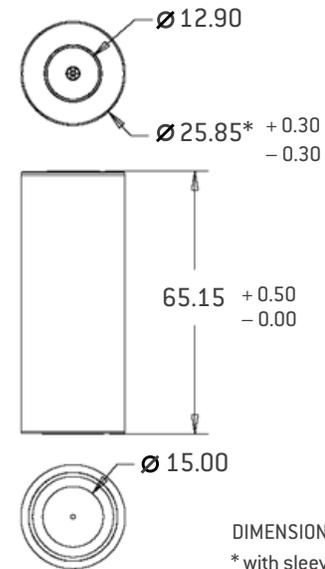
KEY FEATURES AND BENEFITS

- + Excellent abuse tolerance and superior cycle life from A123's patented Nanophosphate[®] lithium ion chemistry
- + High power with over 2,600 W/kg and 5,800 W/L, 10 seconds, 50% SOC
- + High usable energy over a wide state of charge (SOC) range



ANR26650*m1-B* Cell Specifications

Cell Dimensions (mm)	Ø26 x 65
Cell Weight (g)	76
Cell Capacity (nominal/minimum, Ah)	2.5/2.4
Voltage (nominal, V)	3.3
Internal Impedance (1kHz AC typical, mΩ)	6
HPPC 10 Sec Discharge Pulse Power 50% SOC	200 W
Recommended Standard Charge Method	1C to 3.6V CCCV, 45 min
Recommended Fast Charge Method to 80% SOC	4C to 3.6V CC, 12 min
Maximum Continuous Discharge (A)	70
Maximum Pulse Discharge (10 seconds, A)	120
Cycle Life at 10C Discharge, 100% DOD	>1,000 cycles
Operating Temperature	-30°C to 55°C
Storage Temperature	-40°C to 60°C



DIMENSIONS IN MM
* with sleeve 25.96
+/- 0.50 mm

APPLICATIONS

Transportation



Advanced energy storage for electric drive vehicles

Commercial



Enabling next-generation commercial products

Electric Grid

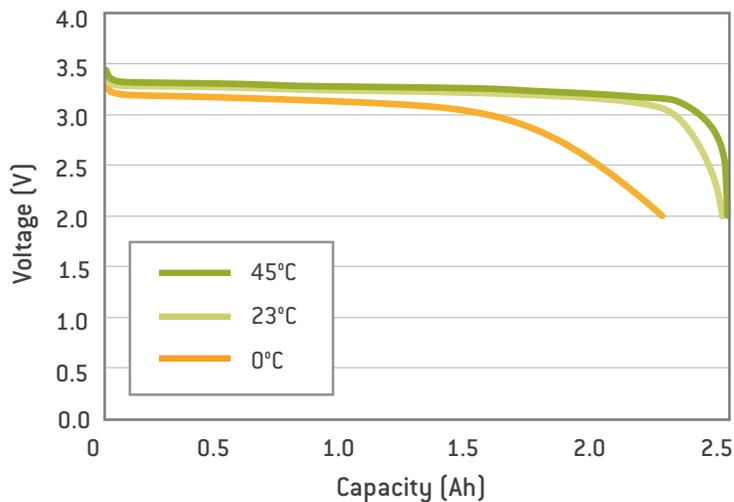


Dynamic energy solutions for a smarter grid

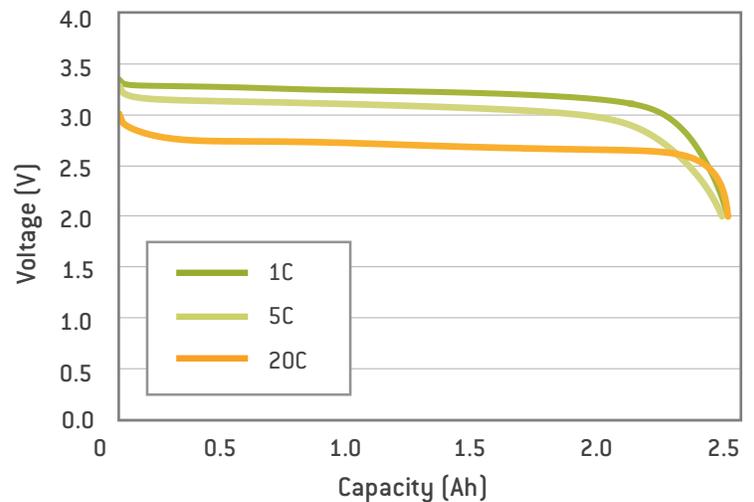
+ Nanophosphate[®] High Power Lithium Ion Cell

ANR26650*M1-B*

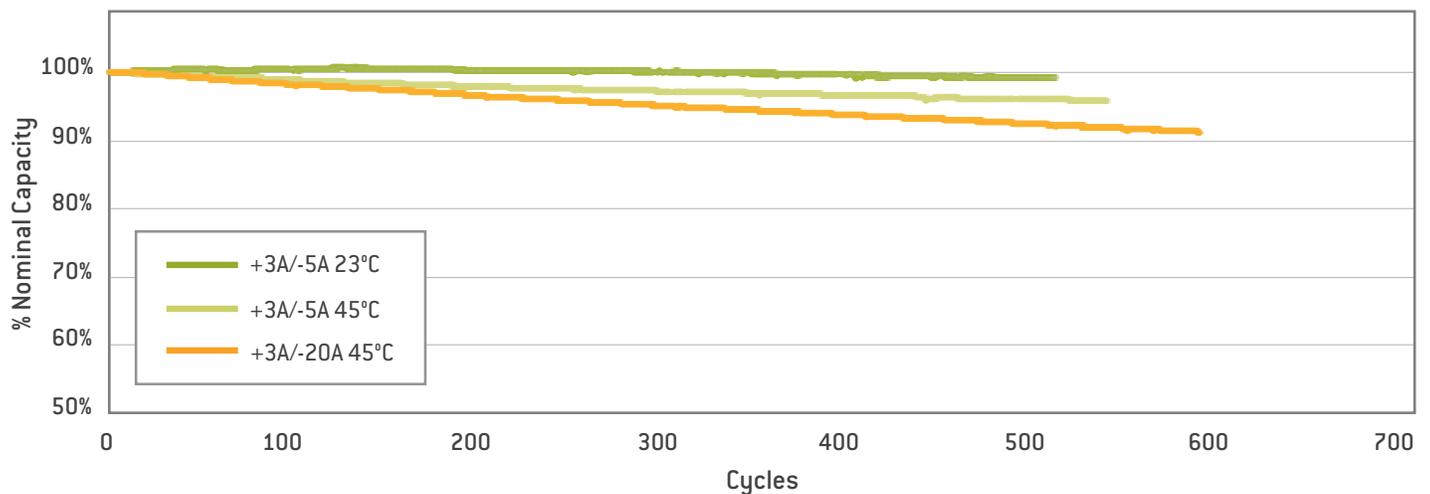
1C Discharge Characteristics at High and Low Temperatures



Discharge Characteristics at 23°C



Cycle Life Performance, 100% DOD, Various Temperatures and Discharge Rates



Preliminary Specifications. Performance may vary depending on use conditions and application.
A123 Systems makes no warranty explicit or implied with this datasheet. Contents subject to change without notice.

CORPORATE HEADQUARTERS

A123 Systems, Inc.
200 West Street
Waltham, MA 02451
(617) 778-5700

www.a123systems.com



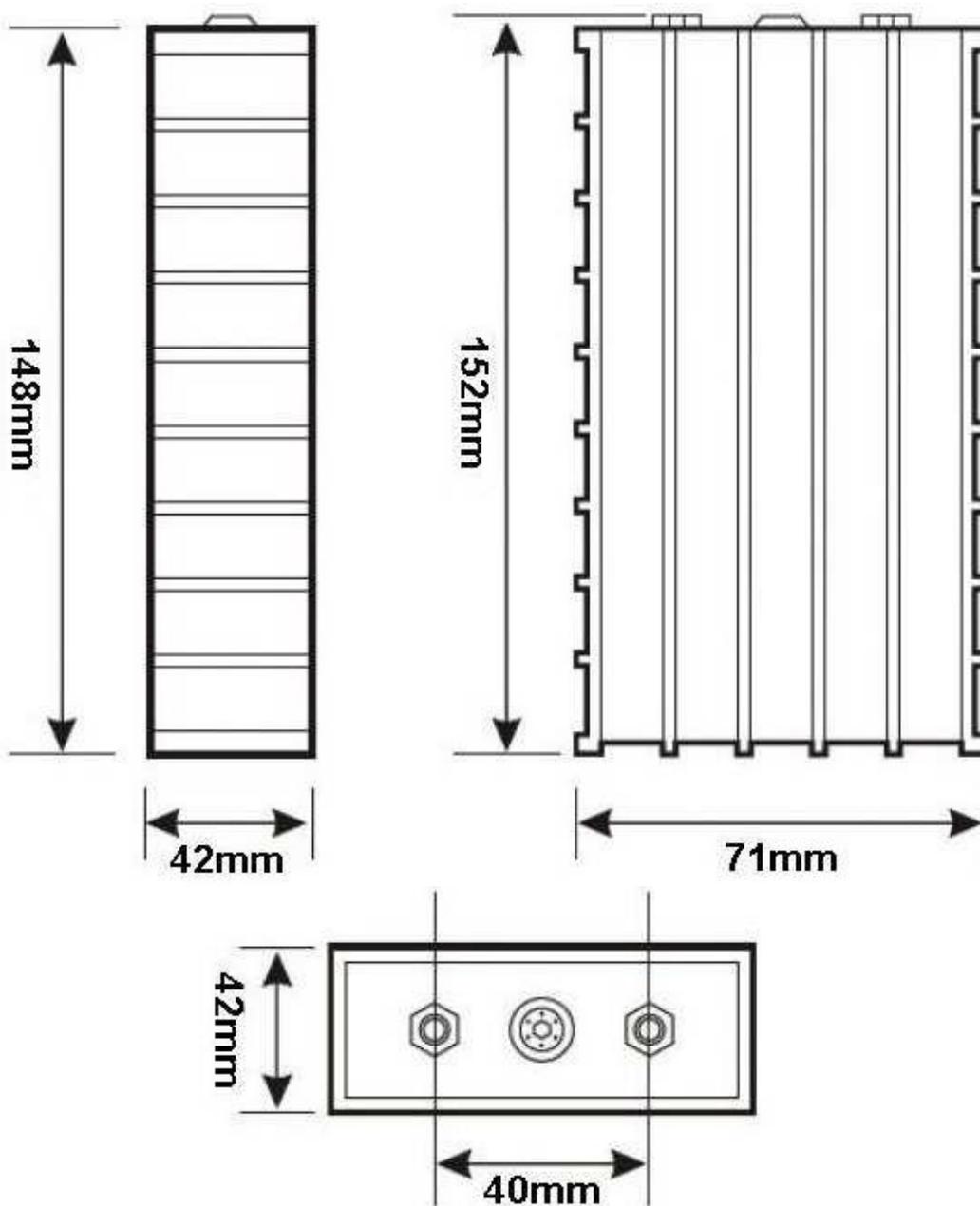
©2011 A123 Systems, Inc. All rights reserved.
MD100113-01

ANEXO B

LFP020AH cell specification



Model name	LFP020AHA	Alternative product marking: LFMP20Ah
Nominal voltage	3.2 V	Operating voltage under load is 3.0 V
Capacity	20 AH	+/- 5%
Operating voltage	max 3.65V - min 2.8V	At 80% DOD, 1500 cycles
Deep discharge voltage	2.7 V	The cells is damaged if voltage drops bellow this level
Maximal charge voltage	3.8 V	The cells is damaged if voltage exceeds this level
Optimal discharge current	< 10 A	0.5 C
Maximal discharge current	< 60 A	3 C, continuous for max 15 minutes from full charge
Max peak discharge current	< 200 A	10 C, maximal 5 seconds in 1 minute
Optimal charge current	< 10 A	0.5 C
Maximal charge current	< 20 A	< 1 C with battery temperature monitoring
Maximal continuous operating temperature	70 °C	The battery temperature should not increase this level during charge and discharge
Dimensions	152 x 71 x 42 mm	Millimeters (tolerance +/- 2 mm)
Weight	0.75 kg	Kilograms (tolerance +/- 150g)

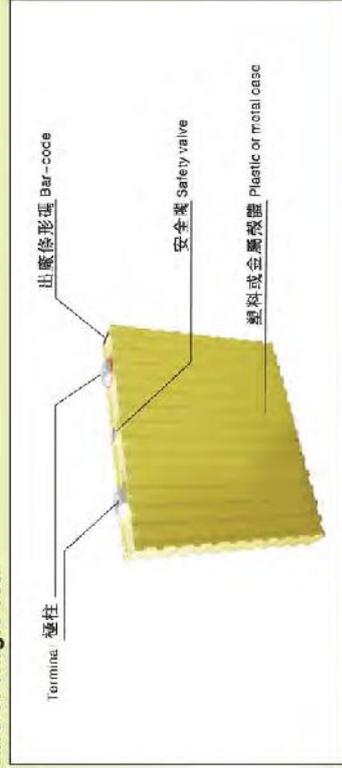


LFP020AH product photo



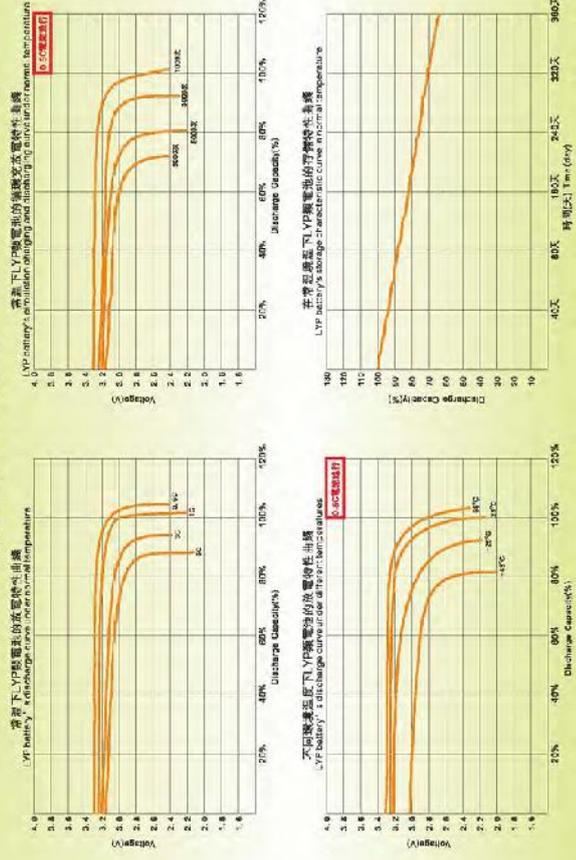
ANEXO C

單體電池的結構 Structure of single cell



- LYP類電池是用作移動式動力源和儲能裝置最理想的電池。
LYP type of batteries is ideally used as a mobile power source and energy storage device.
- 該類電池具有極佳的安全性，極佳的循環壽命。
This type of batteries has excellent safety performance and cycle life.
- 充電時電池外殼溫度若低於75度，該類電池允許採用3CA以下電流進行快速充電。
When the battery chassis has a temperature below 75 degrees, then this type of batteries can accept a fast charge under 3CA or less current.

LYP類電池的放電特性圖



ANEXO D

High Cost Performance, High Energy Density

Features

High capacity

High capacity Twicell has shown the high energy density by using newly developed materials and constitution. High capacity Twicell can contribute to prolonging the running time of the equipment.

Rapid charging capability

When a specifically designed charger is used, Twicell batteries can be charged in only 1.1 hours*. A charge control module is also available.

* Needs special charge control circuit.

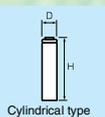
A broad range

A broad range of high capacity Twicell is available. High capacity Twicell is ideal for more compact, efficient applications.

Use

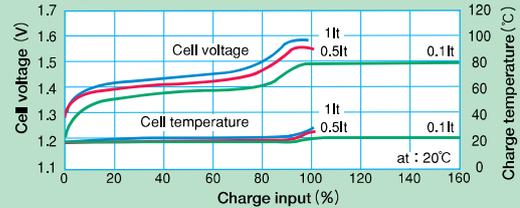
For audio, 2-way radios and other communication devices.

For notebook computers, etc.

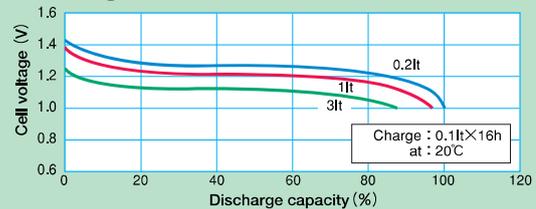


Characteristics(HR-AAU)

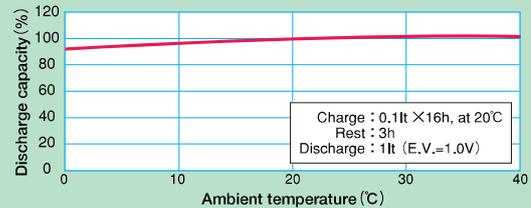
Charge Characteristics



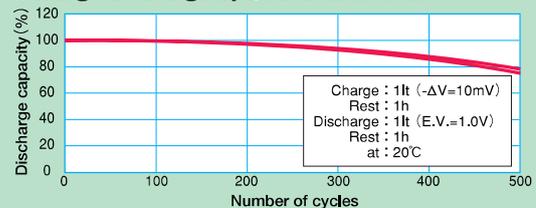
Discharge Characteristics



Temperature Characteristics



Charge/Discharge Cycle Characteristics



Ratings

Model No.	Voltage (V)	Typical Capacity (mAh)*1	Minimum Capacity (mAh)*2	Quick-Charge*3		Dimensions(mm) (incl. tube)*4		Weight (approx.g)*4	Notes
				Current(mA)*3	Time(hr.)	Diameter(D)	Height(H)		
HR-AAAU	1.2	730	650	730	1.1	10.5	44.5	13	For audio, 2-way radios and other communication devices
HR-5/4AAAU	1.2	850	760	850	1.1	10.5	50.0	15	For audio, 2-way radios and other communication devices
HR-AAU	1.2	1650	1500	1650	1.1	14.2	50.0	28	For 2-way radios and other communication devices
HR-4/5AU	1.2	2150	1950	2150	1.1	17.0	43.0	35	For 2-way radios and other communication devices
HR-AU	1.2	2700	2450	2700	1.1	17.0	50.0	40	For 2-way radios and other communication devices
HR-4/3AU	1.2	4000	3600	3000	1.5	17.0	67.5	55	For notebook computers, etc.
HR-4/3FAU	1.2	4500	4100	3000	1.5	18.0	67.5	62	For notebook computers, camcorders, portable DVD players, etc.

*1 Typical capacity when a single cell is discharged at 0.2It after being charged at 0.1It for 16 hours.

*2 Minimum capacity when a single cell is discharged at 0.2It after being charged at 0.1It for 16 hours. *3 Consult Sanyo according to conditions of use. *4 Including tube.

High Capacity and Convenience

■ Features

Dry cell compatible shape

Dry cell compatible Twicell can be used for most of equipment using AA and AAA size dry cells.

Top level capacity in retail use rechargeable battery.

The equipment which need the high capacity like the digital camera is suitable.

Long charge/discharge cycle life as well as offering outstanding economy

Twicell can reduce waste (the amount of used batteries) than that of dry cell.

A powerful range

eneloop with low self-discharge and high discharge voltage is developed.

■ Use

For digital cameras, PDA and audio equipment, remote controller, clock, etc.



AA size
HR-3UTG



AAA size
HR-4UTG



AA size
HR-3U



AAA size
HR-4U

Portable charger which can charge AA/AAA size batteries at a time quickly and have auto voltage function for AC100V-240V

The charger for Nickel-Metal Hydride batteries

NC-MQR02N

■ Features

● **NC-MQR02N can charge AA/AAA size Nickel-Metal Hydride batteries at a time.**

AA size Nickel-Metal Hydride batteries (HR-3U, Typ.2700mAh type)
: approx. 305min.(four batteries), approx. 135min.(two batteries)

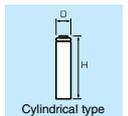
AAA size Nickel-Metal Hydride batteries (HR-4U, Typ.1000mAh type)
: approx. 205min.(two batteries)

● **Newly developed control systems prevent the battery from overcharging and charging error.**

Newly developed peak detection and pulse control systems prevent the battery from overcharging and charging error. And the light informs the charging status.

● **Light weight and compact design.**

NC-MQR02N is handy to carry. Weight : approx.95g (except the batteries), Thickness : 27.5mm. And they have the storage space of plug.



■ Ratings

〈Dry cell compatible Twicell〉									
Model No.	Voltage (V)	Typical Capacity (mAh)*1	Minimum Capacity (mAh)*2	Quick-Charge*3		Dimensions(mm) (incl. tube)*4		Weight (approx.g)*4	Notes
				Current(mA)*3	Time(hr.)	Diameter(D)	Height(H)		
HR-4UTG eneloop	1.2	800	750	800	1.1	10.5	44.5	13	For remote controller, clock, PDA, audio equipment, etc.
HR-4U	1.2	1000	930	1000	1.1	10.5	44.5	13	For PDA, audio equipment, etc.
HR-3UTG eneloop	1.2	2000	1900	2000	1.1	14.35	50.4	27	For remote controller, clock, PDA, audio equipment, etc.
HR-3U	1.2	2500	2300	2500	1.1	14.35	50.4	30	For digital cameras, information equipment, etc.
		2700	2500	2700		14.35	50.4	31	

*1 Typical capacity when a single cell is discharged at 0.2It after being charged at 0.1It for 16 hours. *2 Minimum capacity when a single cell is discharged at 0.2It after being charged at 0.1It for 16 hours.
*3 Consult SanYo according to conditions of use. *4 Including tube.

ANEXO E

VALVE-REGULATED LEAD ACID BATTERIES: INDIVIDUAL DATA SHEET

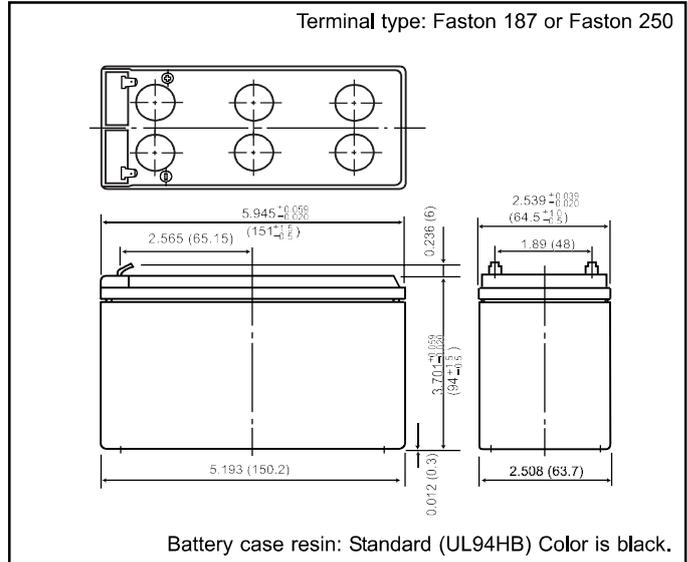
LC-R127R2P



Photo/Label for reference only.

For main and standby power supplies.
Expected trickle life: 3-5 years at 25°C, Approx. 5 years at 20°C.

Dimensions (mm)

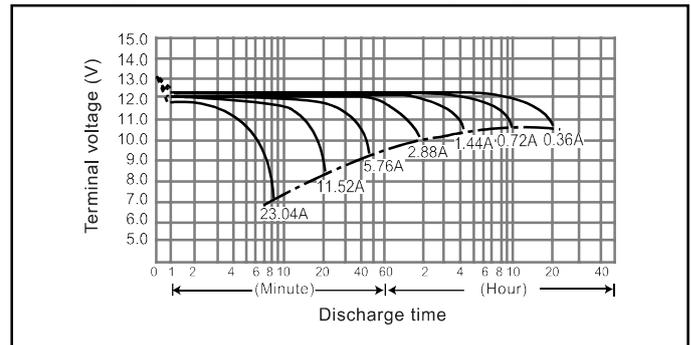


Specifications

Nominal Voltage		12V
Rated Capacity (20 hour rate)		7.2Ah
Dimensions	Length	5.945 inches (151.0 mm)
	Width	2.539 inches (64.5 mm)
	Height	3.702 inches (94.0 mm)
	Total Height*	3.937 inches (100.0 mm)
Approx. mass		5.45 lbs. (2.47 kg)
Standard Terminals and Resin	UL94HB Faston 187	LC-R127R2P
	UL94HB Faston 250	LC-R127R2P1

* The total height with #250 terminal is 101.5mm.

Discharge characteristics 77°F (25°C) (Note)

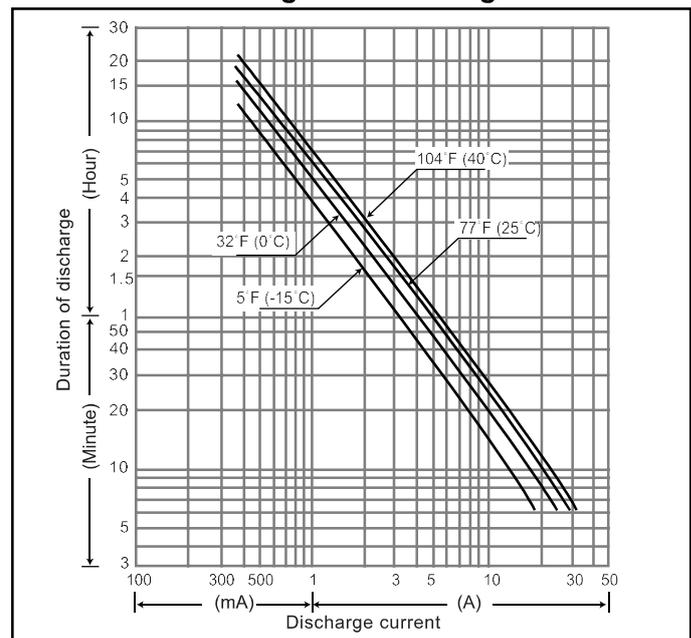


Characteristics

Capacity (note) 77°F (25°C)	20 hour rate (360mA)	7.2Ah	
	10 hour rate (680mA)	6.8Ah	
Internal Resistance	5 hour rate (1260mA)	6.3Ah	
	1 hour rate (4900mA)	4.9Ah	
Temperature dependency of capacity (20 hour rate)	1.5 hour rate discharge Cut-off voltage 10.5 V	3.5A	
	Fully charged battery 77°F (25°C)	Approx. 40mΩ	
	104°F (40°C)	102%	
	77°F (25°C)	100%	
Self discharge 77°F (25°C)	32°F (0°C)	85%	
	5°F (-15°C)	65%	
	Residual capacity after standing 3 months	91%	
Charge Method (Constant Voltage)	Residual capacity after standing 6 months	82%	
	Residual capacity after standing 12 months	64%	
Cycle use (Repeating use)	Initial current	2.88 A or smaller	
	Control voltage	14.5V to 14.9V (per 12V cell 25°C)	
	Trickle use	Initial current	1.08 A or smaller
		Control voltage	13.6V to 13.8V (per 12V cell 25°C)

(Note) The above characteristics data are average values obtained within three charge/discharge. Cycles not the minimum values.

Duration of discharge vs. Discharge current (Note)



ANEXO F

WARNING AND SAFETY NOTES

*These warnings and safety notes are particularly important.
Please follow the instructions for maximum safety;
otherwise the charger and the battery can be damaged
or at worst it can cause a fire.*

- Never leave the charger unattended when it is connected to its power supply. If any malfunction is found, **TERMINATE THE PROCESS AT ONCE** and refer to the operation manual.
- Keep the charger well away from dust, damp, rain, heat, direct sunshine and vibration. Never drop it.
- The allowable input voltage is 11-18V DC
- This charger and the battery should be put on a heat-resistant, nonflammable and nonconductive surface. Never place them on a car seat, carpet or similar. Keep all the inflammable volatile materials away from operating area.
- Make sure you know the specifications of the battery to be charged or discharged to ensure it meets the requirements of this charger. If the program is set up incorrectly, the battery and charger may be damaged. It can cause fire or explosion due to overcharging. This warranty is not valid for any damage or subsequent damage arising as a result of a misuse or failure to observe the procedures outlined in this manual.

NiCd/NiMH

Voltage level: 1.2V/cell
Allowable fast charge current: 1C-2C (depends on the performance of cell)
Discharge voltage cut off level: 0.85V/cell (NiCd), 1.0V/cell (NiMH)

LiIo Voltage level: 3.6V/cell
Max. charge voltage: 4.1V/cell
Allowable fast charge current: 1C or less
Min. discharge voltage cut off level: 2.5V/cell or higher

LiPo Voltage level: 3.7V/cell
Max. charge voltage: 4.2V/cell
Allowable fast charge current: 1C or less
Discharge voltage cutoff level: 3.0V/cell or higher

LiFe Voltage level: 3.3V/cell
Max. charge voltage: 3.6V/cell
Allowable fast charge current: 4C or less
Discharge voltage cutoff level: 2.0V/cell or higher

Pb Voltage level: 2.0V/cell
(Lead-acid) Max. charge voltage: 2.46V/cell
Allowable fast charge current: 0.4C or less
Discharge voltage cutoff level: 1.75V/cell or higher

ANEXO G



Produtos

Fornecedores

[Enviar Pedido de Compra](#)

Português | English

Pesquisa de Produtos

Buscar produtos deste fornec

Equipamentos eléctricos e suprimentos | Inversores e conversores | Fornecimento de comutação de energia

[Página inicial](#) > [Produtos](#) > [Equipamentos eléctricos e suprimentos](#) > [Fontes de Alimentação](#) > [Inversores e conversores](#) (131992)

Três - fase 20kw saída solar inversor grid tie

por [Jerdin Electric Co., Ltd.](#)

Veja a imagem maior

Preço FOB: US \$4,000 - 7,000 / Parte

Porto: Ningbo/Shanghai

Quantidade de pedido mínimo: 1 Parte/partes

Termos do pagamento: L/C,T/T,Western Union

Contate agora

[Facebook](#)[Twitter](#)[Google](#)[Delicious](#)[Reddit](#)

Detalhes do Fornecedor

Jerdin Electric Co., Ltd.

[Zhejiang, China (continente)]

Tipo de Negócio: Companhia de

Comércio Internacional

[Detalhes para Contactos](#)

Fornecedor Ouro [4º ano]

Se você tem alguma dúvida sobre este produto, como preço, forma de pagamento, modo de transporte, por favor clique no botão entrar em contato com fornecedores.

Controle de Qualidade

Certificados

Produtos (1084)

[disjuntor \(9\)](#)[Estabilizador da tensão AC de servo motor \(435\)](#)[Tipo estabilizador do relé de AVR/SVR/TZ da tensão AC \(101\)](#)[Regulador de tensão TDGC2/TSGC2 \(47\)](#)[Fonte de alimentação ininterrupto alternativa do UPS \(56\)](#)[Inversor de DC-AC \(183\)](#)[Carregador atual constante de KCA \(25\)](#)[Transformador \(35\)](#)[Estabilizador compensado DBW/SBW da tensão \(72\)](#)[Estabilizador compensado trifásico de SBW-F Series \(33\)](#)[Ver mais](#)

Produtos em destaque

**ESTABILIZADOR da TENSÃO do SVC 2000VA da fase monofásica de servo motor****Svc/ tns-10kva três fases de alta precisão completa - automática estabilizador de tensão ac****Estabilizador full-automatic trifásico da tensão AC De exatidão elevada de TNS**

Ferramenta

[Envie esta página](#)[Imprima esta página](#)[Marque esta página](#)[URL cópia](#)

Negociação Detalhes

Habilidade da

100 Parte/partes por Mês

fonte:

Pacote:

Embalagem padrão do mar

Tempo de entrega:

De acordo com sua quantidade

Detalhes do produto

Detalhes Rápidos

Língua: [Português](#) [English](#)

Lugar de origem: China (continente)

Marca: Jerdin

Número do Modelo: JD

Tensão de entrada: C.C. 880V

Tensão da saída: C.A. 480V

Frequência da saída: /

Corrente de saída: /

Proteção: IP56

certificação: UL1741 CE IEEE 802

Garantia: 1~3year

Tipo:

feito-à-medida

Poder da saída: 10K/12K/15K/20K/50K

Especificações

1. três - fase 20kw saída solar inversor grid tie 2. aprovação: ul1741 ieee 802 3. entrada volt: até 1000v dc 4. poder avaliado: 5~1

20KW trifásico output o inversor solar do laço da grade

Aceite feito-à-medida

20KW trifásico output o índice solar da tecnologia do inversor da grade

Modelo	XSB-20K
Poder avaliado (KVA)	20
Poder máximo máximo (KVA)	30
Grade no fator de poder	>COSΦ-0.99
C.C. avaliado da tensão de entrada V	500 -35~+25%
C.C. máxima da tensão de entrada V	750
C.C. da escala V do controle de MPPT	500 -35~+30%
Eficiência de conversão do controle de MPPT	97%
Tensão V/AC da saída avaliado	fios trifásicos de 380/220±2% os quatro adicionam o PE
Permita a carga do eatch desequilibrada	100%

Output a frequência	50/60HZ
Output a forma de onda	Onda de seno pura
Carga do ferro da distorção	<3%
Eficiência do inverter	>92 %
Habilidade da sobrecarga do urso	110% 10mins 120% 3 minutos, 150% 10 segundos
Intensidade da isolação	Saída do PK da entrada, escudo entrado do PK Avaria da C.A. 2.5KV 1min não
Ruído do trabalho	(distance1M) menos do que 60DB
Tamanho do produto	720X520X220
Peso quilograma	48
Altura do uso	≤4000
Nenhum gás ácido do alcalóide da corrosão	
Temp ambiental	Quando -20~65°C >45°C per°C 0.9%
Umidade	<90% nenhuma condensação
Controle	Entrada MPPT.
Maneira da grade	Travamento
Escala aplicável da tensão de grade V /AC	340-420 (quando tensão de grade 380V)
Escala aplicável da frequência hertz da grade	59 -61 (quando frequência 60HZ da grade) 49 -51 (quando grade 50HZ)
Proteção	Entrada sobre a tensão/tensão de grade/proteção anormal da frequência, gerador solar na detecção, thermal, sobrecarga, short - proteção de circuito. De encontro do "ao controle do efeito console"
LCD	A tensão da rede/tensão da frequência/entrada/condição do funcionamento/falha
Relação de comunicação (opcional)	RS-232/485or CAN2.0
Relação de controle da rede remota	Reunião do módulo de relação do Ethernet toda sobre a conexão de rede do cabo do twisted pair de IEEE 802.

Envie sua mensagem para este fornecedor

De: Introduza o e-mail ou ID de Usuário.

Para: Ms. Heidi Tang

Assunto:

Mensagem:

Sua mensagem deve ter entre 2-80 caracteres

Produtos Relacionados



Dc-ac inverter 1kw, solar inverter 1kw, 2kw, 3kw, 4kw, 5kw, 6kw, 8kw
 . 2.ex-stock manual do usuário inglês para a entrega alerta
 3.can seja conectado com o computador para a análise do controle a distância & de dados...



baixa frequência inverter casa
 Home inverter inverter de onda senoidal poder avaliado: 300w tempo de transferência: 5ms frequência de saída: 50hz/60hz



Pv grade - amarrada solar inverter 5kw para dk, tuvcetificate as4777
 1. pv grade - amarrado inverter 5kw 2. islanding proteção 3. alta eficiência 4. dk5940/tuv/as4777certificates 5. garantia 5 anos



**Cromo duro chapeamento
rectifier**
Cromo galvanoplastia
retificador é usado para 1)
chapeamento de cromo duro, 2
) de decoração e cromagem
dura etc



**Preço do competidor por watt
monocrystalline painel solar kit
175 dc12v (sgm -175w)**
175 watts painel solar/ módulo
solar produzido com alto -
qualidade da célula solar e eva,
tpt,



**500w-15kw lnd inverter de onda
senoidal com carregador**
invreter do poder do sinewave
com o carregador de bateria
automático do carregador
25amp com a opção da
cremalheira/torre do AVR da
entrada construída no
transforme



12v 220v cy-0116 inverter
1. uso na tv, vcd, dvd,
carregador de celular, de
alimentação do pc, etc. 2.
mercado de exportação:
américa, a europa, asia 3.
tempo de entrega: 15 dias 4.
oem



Inverter solar
Ela tem as seguintes funções.
Carregamento solar, charge -
controle de descarga e inverter.
Operação simples e estável
performan



**1000w com carregador 12v para
220v inverter**
1. ce 2. fábrica 3. modificado
onda senoidal 4. proteção
contra sobrecarga 5. dc12/24v
para ac110/220v, 60/50hz

Você pode também estar interessado em :

- [inverter grid tie vento](#)
- [inverter empate](#)
- [grade solar conectada inverter](#)
- [no inverter grid](#)
- [ligados à rede do inverter](#)
- [inverter grid tie](#)
- [inverter](#)
- [grade empate inverter solar](#)
- [inverter solar](#)

[ver mais itens relacionados](#)

Estes Produtos ou Resultados de Fornecedores foram traduzidos, para sua conveniência, usando ferramentas de linguagem. Se você tem qualquer sugestão sobre esta página, [por favor ajude-nos a melhorar.](#)

Informações da companhia - Sociedades

Fabricantes - Compras on-line - Fornecedor de Ouro - compra - venda - Feiras - Meu Alibaba - Serviços de exportações da china - Ajuda - Mapa local - Serviços de clientes - UK - Austrália

Consulte alfabeticamente: Todos os produtos, importadores, China, países

Language Option: Español - Português - Deutsch - Français - Italiano - Русский - 한국어 - 日本語 - اللغة العربية

Grupo de Alibaba: Alibaba.com: Alibaba Chinês - Alibaba International - Alibaba Japonês | Taobao | Alipay | Yahoo! Chinês | Koubei.com | Alisoft | Alimama

Política de listagem de Produtos - Política de Propriedade Intelectual e Alegação de Violação - Política de Privacidade - Termos de Uso - termos de uso - Formas seguras de troca - Relatório de violação do direito de propriedade intelectual

Direitos autoridades © 1999-2012 Alibaba.com Limitada e/ou suas subsidiárias e concessionários. Todos os direitos são reservados.

Todas as traduções detalhadas dos produtos são fornecidas pelo SYSTRAN

ANEXO H

Apêndice 1

DECOMPOSIÇÃO SEQUENCIAL DO CICLO DE MARCHA PARA O ENSAIO DO TIPO I**1. CICLO DE ENSAIO**

A figura III.1.1 representa o ciclo de ensaio, constituído por uma parte um (ciclo urbano) e uma parte dois (ciclo extra-urbano).

2. CICLO URBANO ELEMENTAR (PARTE UM)

Ver figura III.1.2 e quadro III.1.2.

2.1. Decomposição sequencial por fases

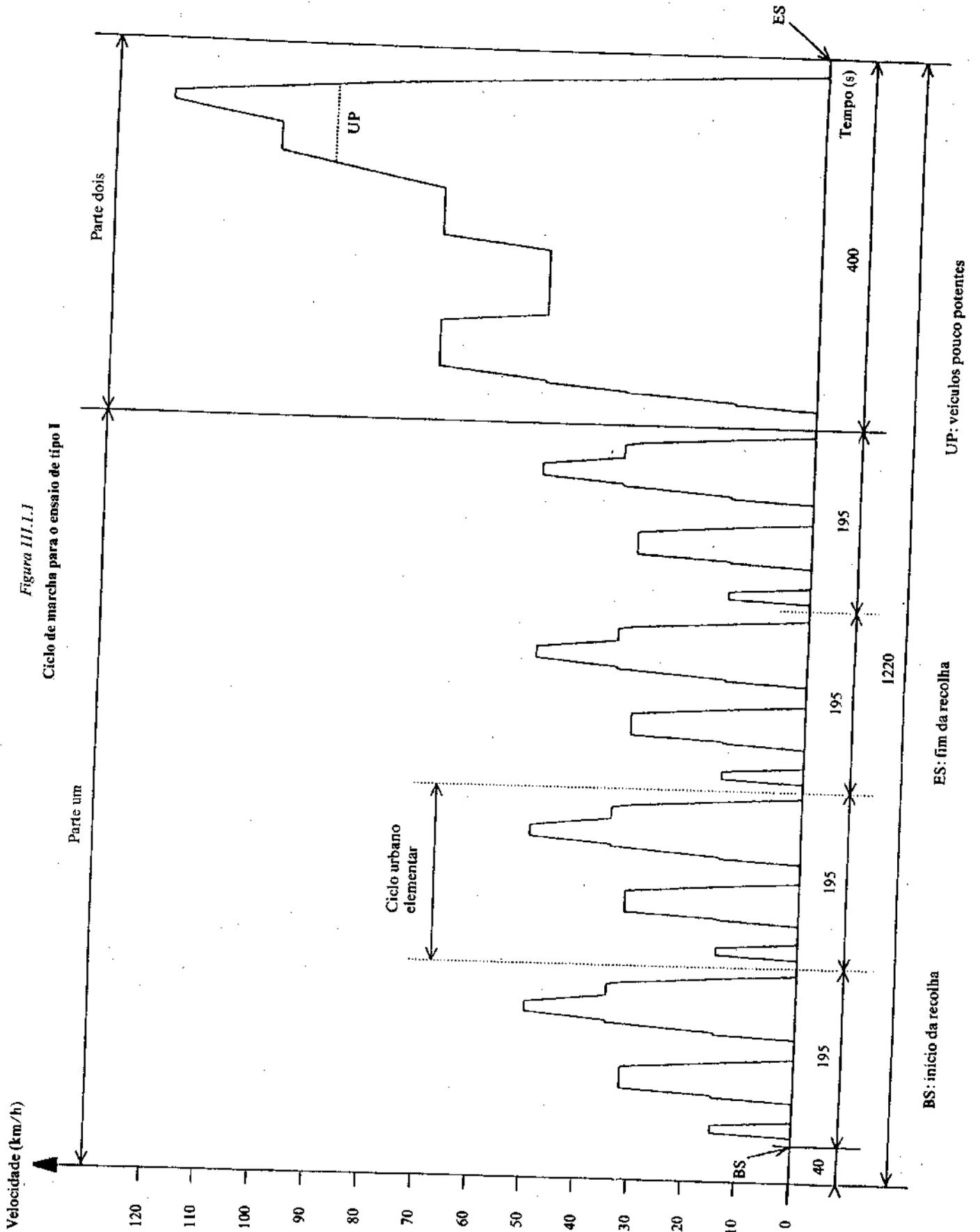
	Em tempo	Em percentagem
Marcha lenta sem carga:	60 s	30,8
Marcha lenta sem carga, veículo em marcha, embraia- gem engatada numa relação:	9 s	4,6
Mudança de velocidades:	8 s	4,1
Acelerações:	36 s	18,5
Marcha a velocidade estabilizada:	57 s	29,2
Desacelerações:	25 s	12,8
	195 s	100 %

2.2. Decomposição sequencial pela utilização da caixa de velocidades

	Em tempo	Em percentagem
Marcha lenta sem carga:	60 s	30,8
Marcha lenta sem carga, veículo em marcha, embraia- gem engatada numa relação:	9 s	4,6
Mudança de velocidades:	8 s	4,1
Marcha na 1ª relação:	24 s	12,3
Marcha na 2ª relação:	53 s	27,2
Marcha na 3ª relação:	41 s	21
	195 s	100 %

2.3. Informações gerais

Velocidade média durante o ensaio: 19 km/h.
 Tempo de marcha efectivo: 195 s.
 Distância teórica percorrida por ciclo: 1,013 km.
 Distância teórica para os 4 ciclos: 4,052 km.



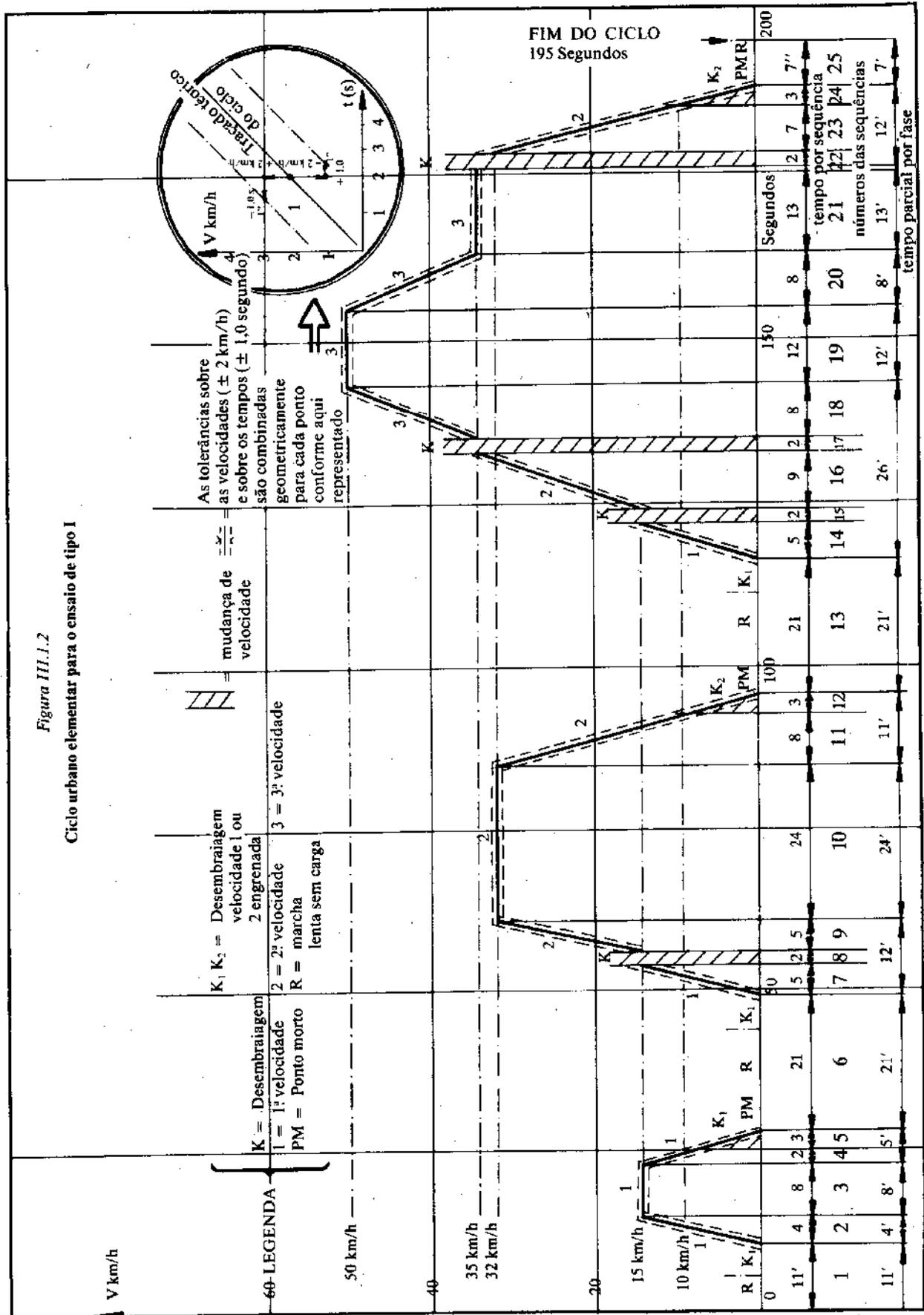
Quadro III.1.1.2

Ciclo de ensaio urbano elementar no banco de rolos — PARTE UM

Operação n.º	Operação	Fase n.º	Aceleração (m/s ²)	Velocidade (km/h)	Duração de cada fase (s)		Tempo acumulado (s)	Relação a utilizar no caso de uma caixa mecânica
					operação	fase		
1	Marcha lenta sem carga	1			11	11	11	6 s PM + 5 s K ₁ (*) K ₁ (*) 16 s PM + 5 s K ₁ (*) K ₂ (*) 16 s PM + 5 s K ₁ (*) K ₂ (*) 16 s PM + 5 s K ₁ (*) K ₂ (*) 7 s PM (*)
2	Aceleração	2	1,04	0-15	4	4	15	
3	Velocidade estabilizada	3		15	8	8	23	
4	Desaceleração	4	-0,69	15-10	2	2	25	
5	Desaceleração, embraiagem desengatada	5	-0,93	10-0	3	5	28	
6	Marcha lenta sem carga	6	0,83	0-15	21	21	49	
7	Aceleração	7	0,94	15-32	5	5	54	
8	Mudança de velocidade	8		32	2	12	56	
9	Aceleração	9	0,76	32-10	5	5	61	
10	Velocidade estabilizada	10	-0,76	32-10	24	24	85	
11	Desaceleração	11	-0,93	10-0	8	8	93	
12	Desaceleração, embraiagem desengatada	12			3	11	96	
13	Marcha lenta sem carga	13	0-15	0-15	21	21	117	
14	Aceleração	14	0,62	15-35	5	5	122	
15	Mudança de velocidade	15	0,52	35-50	2	2	124	
16	Aceleração	16		50	9	26	133	
17	Mudança de velocidade	17	0,52	50-35	2	2	135	
18	Aceleração	18	-0,52	35	8	8	143	
19	Velocidade estabilizada	19		35	12	12	155	
20	Desaceleração	20	-0,87	32-10	8	8	163	
21	Velocidade estabilizada	21	-0,93	10-0	13	13	176	
22	Mudança de velocidade	22			2	2	178	
23	Desaceleração	23			7	12	185	
24	Desaceleração, embraiagem desengatada	24			3	3	188	
25	Marcha lenta sem carga	25			7	7	195	

(*) PM = Caixa em ponto morto, embraiagem engatada.

K₁, K₂ = Caixa na primeira ou na segunda relação, embraiagem desengatada.



3. CICLO EXTRA-URBANO (PARTE DOIS)

Ver figura III.1.3 e quadro III.1.3.

3.1. Decomposição sequencial por fases

	Em tempo	Em percentagem
Marcha lenta sem carga:	20 s	5,0
Marcha lenta sem carga, veículo em marcha, embraia-gem engatada numa relação:	20 s	5,0
Mudança de velocidades:	6 s	1,5
Acelerações:	103 s	28,5
Marcha a velocidade estabilizada:	209 s	52,2
Desacelerações:	42 s	10,5
	400 s	100 %

3.2. Decomposição sequencial pela utilização da caixa de velocidades

	Em tempo	Em percentagem
Marcha lenta sem carga:	20 s	5,0
Marcha lenta sem carga, veículo em marcha, embraia-gem engatada numa relação:	20 s	5,0
Mudança de velocidades:	6 s	1,5
Marcha na 1ª relação:	5 s	1,3
Marcha na 2ª relação:	9 s	2,2
Marcha na 3ª relação:	8 s	2,0
Marcha na 4ª relação:	99 s	24,8
Marcha na 5ª relação:	233 s	58,2
	400 s	100 %

3.3. Informações gerais

Velocidade média durante o ensaio: 62,6 km/h.
 Tempo de marcha efectivo: 400 s.
 Distância teórica percorrida: 6,955 km.
 Velocidade máxima: 120 km/h.
 Aceleração máxima: 0,833 m/s².
 Desaceleração máxima: -1,389 m/s².

Quadro III.1.3

Ciclo extra-urbano (PARTE DOIS) para o ensaio do tipo I

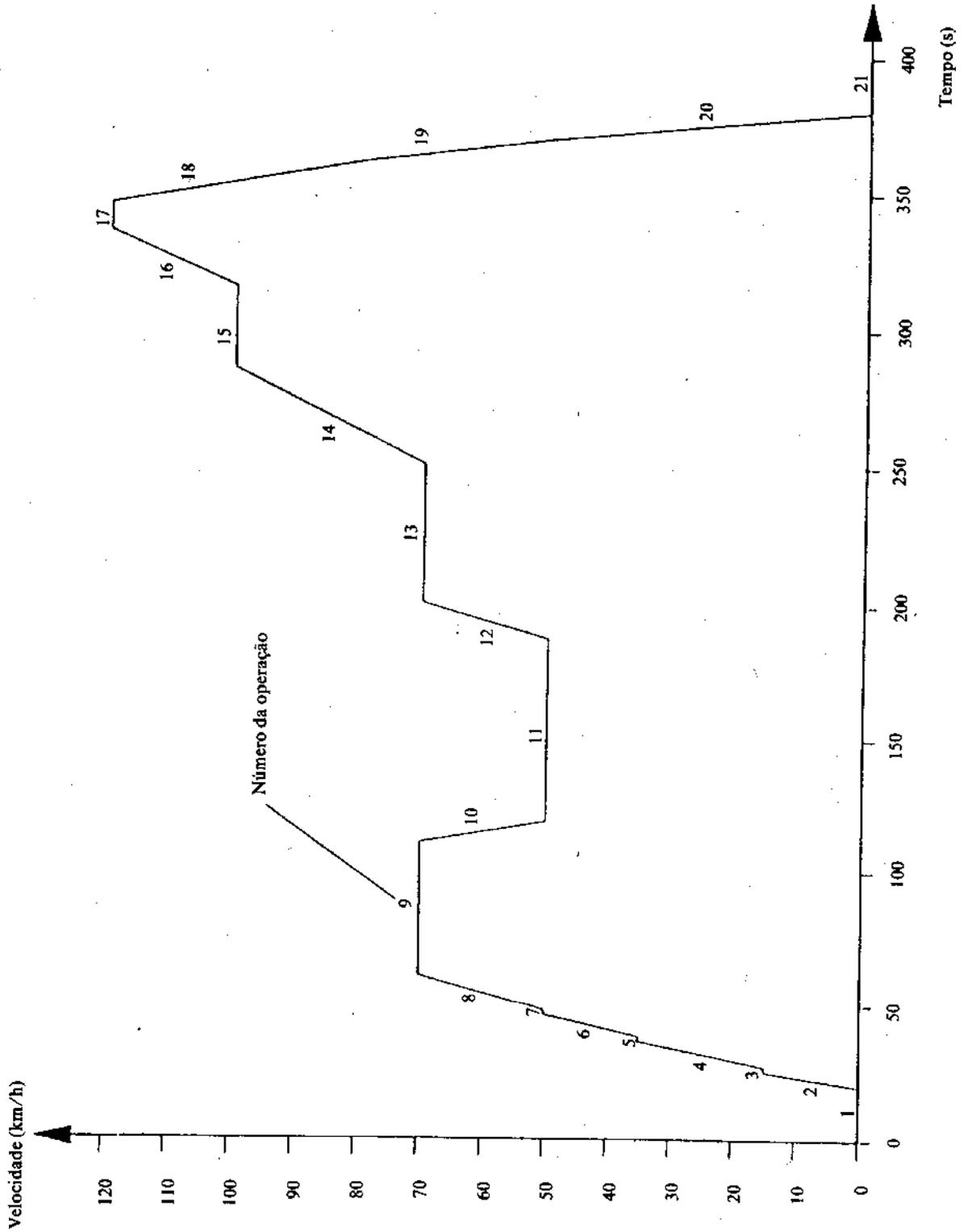
Operação n.º	Operação	Fase n.º	Aceleração (m/s ²)	Velocidade (km/h)	Duração de cada fase (s)		Tempo acumulado (s)	Relação a utilizar no caso de uma caixa mecânica
					operação	fase		
1	Marcha lenta sem carga	1	0,83	0-15	20	20	20	K ₁ (*)
2	Aceleração				5	25		
3	Mudança de velocidade	2	0,62	15-35	2	41	27	2
4	Aceleração				9		36	
5	Mudança de velocidade				2		38	
6	Aceleração				8		46	
7	Mudança de velocidade	3	0,52	35-50	2	48	48	3
8	Aceleração				2		46	
9	Mudança de velocidade	4	0,43	50-70	13	50	61	4
10	Aceleração				50		111	
11	Desaceleração	5	-0,69	70-50	8	8	119	5
12	Velocidade estabilizada				69		188	
13	Aceleração	6	0,43	50-70	13	13	201	4
14	Velocidade estabilizada				50		201	
15	Aceleração	7	0,24	70-100	50	50	251	5
16	Velocidade estabilizada				35		286	
17	Aceleração	8	0,28	100-120	30	30	316	5 (**)
18	Velocidade estabilizada				20		336	
19	Desaceleração	9	-0,69	120-80	10	10	346	5 (**)
20	Desaceleração, embraiagem desengatada				16		362	
		12	-1,04	80-50	8	34	370	5 (**)
					10		380	
21	Marcha lenta sem carga	13	-1,39	50-0	20	20	400	K ₅ (*) PM (*)

(*) PM = Caixa em ponto morto, embraiagem engatada.

K₁, K₅ = Caixa na primeira ou na quinta relação, embraiagem desengatada.

(**) Podem ser utilizadas relações adicionais, de acordo com as recomendações do fabricante, se o veículo estiver equipado com uma caixa de velocidades com mais de cinco relações.

Figura III.1.3
Ciclo extra-urbano (parte dois) para o ensaio do tipo I



4. CICLO EXTRA-URBANO (veículos pouco potentes)
Ver figura III.1.4 e quadro III.1.4.

4.1. **Decomposição sequencial por fases**

	Em tempo	Em percentagem
Marcha lenta sem carga:	20 s	5,0
Marcha lenta sem carga, veículo em marcha, embraia- gem engatada numa relação:	20 s	5,0
Mudança de velocidades:	6 s	1,5
Acelerações:	72 s	18,0
Marcha a velocidade estabilizada:	252 s	63,0
Desacelerações:	30 s	7,5
	400 s	100 %

4.2. **Decomposição sequencial pela utilização da caixa de velocidades**

	Em tempo	Em percentagem
Marcha lenta sem carga:	20 s	5,0
Marcha lenta sem carga, veículo em marcha, embraia- gem engatada numa relação:	20 s	5,0
Mudança de velocidades:	6 s	1,5
Marcha na 1ª relação:	5 s	1,3
Marcha na 2ª relação:	9 s	2,2
Marcha na 3ª relação:	8 s	2,0
Marcha na 4ª relação:	99 s	24,8
Marcha na 5ª relação:	233 s	58,2
	400 s	100 %

4.3. **Informações gerais**

Velocidade média durante o ensaio: 59,3 km/h.
Tempo de marcha efectivo: 400 s.
Distância teórica percorrida por ciclo: 6,594 km.
Velocidade máxima: 90 km/h.
Aceleração máxima: 0,833 m/s².
Desaceleração máxima: - 1,389 m/s².

Quadro III.1.4

Ciclo extra-urbano (veículos pouco potentes) para o ensaio do tipo I

Operação n.º	Operação	Fase n.º	Aceleração (m/s ²)	Velocidade (km/h)	Duração de cada		Tempo acumulado (s)	Relação a utilizar no caso de uma caixa mecânica
					operação (s)	fase (s)		
1	Marcha lenta sem carga	1	0,83	0-15	20	20	20	K ₁ (*)
2	Aceleração				5			
3	Mudança de velocidade	2	0,62	15-35	2	41	25	-
4	Aceleração				9			
5	Mudança de velocidade				2			
6	Aceleração				8			
7	Mudança de velocidade	3	0,52	35-50	2	48	38	-
8	Aceleração				8			
9	Velocidade estabilizada	4	0,43	50-70	13	61	46	-
10	Desaceleração				50			
11	Velocidade estabilizada	5	-0,69	70-50	8	111	61	4
12	Desaceleração				69			
13	Aceleração	6	0,43	50-70	13	188	111	5
14	Velocidade estabilizada				50			
15	Aceleração	7	0,24	70-90	24	201	188	4
16	Velocidade estabilizada				83			
17	Desaceleração	8	-0,69	90-80	4	251	201	5
18	Desaceleração				8			
19	Desaceleração	10	-1,39	80-50	8	275	251	5
	Desaceleração				10			
	Marcha lenta sem carga	11		50-0	20	380	275	5
					20	400	380	PM (*)

(*) PM = Caixa em ponto morto, embraiagem engatada.

K₁, K₂ = Caixa na primeira ou na quinta relação, embraiagem desengatada.

Figura III.1.4
Ciclo extra-urbano (parte dois) para o ensaio do tipo I (veículos pouco potentes)

