



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

João Filipe Morgado Oliveira

Conceção Técnica e Avaliação Económica de
um Veículo Solar para Venda de Produtos
Refrigerados



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

João Filipe Morgado Oliveira

Conceção Técnica e Avaliação Económica de
um Veículo Solar para Venda de Produtos
Refrigerados

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efectuado sob a orientação do
Professor Doutor José Carlos Fernandes Teixeira
Professor Doutor João Pedro Mendonça A. Silva

DECLARAÇÃO

Nome: João Filipe Morgado Oliveira

Endereço eletrónico: jfmoliveira.92@gmail.pt

Telefone: +351 934005150

Bilhete de Identidade/Cartão do Cidadão: 14087468

Título da dissertação: Avaliação Técnica e Económica de um Veículo Solar para Venda de Gelados

Orientadores:

Professor Doutor José Carlos Fernandes Teixeira

Professor Doutor João Pedro Mendonça A. Silva

Ano de conclusão: 2015

Mestrado em Engenharia de Mecânica

DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO.

Universidade do Minho, ____/____/____

Assinatura:

“The most valuable resource that we have its our time.”

“To my parents: Joaquim e Bernardete”

Agradecimentos

Primeiramente, um agradecimento especial ao meu orientador, Professor José Carlos Teixeira, e ao meu coorientador, Professor João Pedro Mendonça, pelas suas valiosas indicações, sugestões e críticas que contribuíram para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Gostava também de deixar um grande obrigado à empresa Dst Solar por me terem proporcionado a realização desta dissertação e uma primeira experiência no mercado de trabalho. Obrigado pela vossa disponibilidade, ajuda e companheirismo.

Quero agradecer sinceramente a: Ana Silva, Paulo Cerdeira, Ricardo Antunes, Inês Costa, Hélder Miranda, João Oliveira, João P. Rodrigues, João Pedro Soares, José Pedro Oliveira, ao incrível grupo maravilha PIPSdaBIBS, mais concretamente, Darya Nikonenko e Rui Martins por toda a força, motivação e boa disposição nas horas mais difíceis, e a muitos outros que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão desta etapa.

Gostaria também de agradecer à esta mui nobre academia da Universidade do Minho por me ter proporcionado os melhores anos da minha vida.

Por último e às pessoas mais importantes da minha vida, quero agradecer à minha família por me aturarem e por todo o apoio que me deram ao longo destes meses. Aos meus pais pela educação e valores que me transmitiram. Sem eles nada disto teria sido possível. Aos meus *brothers*: Luís, Quim e David. Um dia pago-vos o investimento. Um muito obrigado.

Resumo

A presente dissertação aborda o estudo e desenvolvimento de um veículo parcialmente alimentado com o recurso a energia fotovoltaica, para venda de produtos refrigerados. Este projeto surgiu em parceria com a empresa Dst Solar S.A. no âmbito de um estágio curricular efetuado durante esta dissertação.

O objetivo primário deste projeto é apresentar as potencialidades do uso da energia fotovoltaica com vista a incentivar o uso e a generalização desta tecnologia na sociedade. Esta dissertação foca-se essencialmente no módulo energético do sistema, o qual foram desenvolvidas cinco (5) soluções possíveis com tensões do sistema de 12V e 24V.

Esta dissertação não se propõe a apresentar o projeto completo, mas a descrever os principais aspetos envolvidos, com destaque para o sistema de alimentação solar, composto por um módulo fotovoltaico, baterias e controlador de carga.

Desta forma, a dissertação inicia-se com a descrição das principais características dos módulos fotovoltaicos, das baterias e dos controladores de carga, com foco para os sistemas *off-grid*. São ainda abordados conceitos relativos ao cálculo de ganhos térmicos em sistemas de refrigeração, como forma de estimar os consumos inerentes ao funcionamento da arca frigorífica, para esta aplicação em particular.

A metodologia de projeto aplicada visa a utilização de uma abordagem sistemática e objetiva, na qual são estabelecidos os objetivos, estrutura de funções e subfunções, as especificações e os requisitos que o projeto deverá ter. A partir das especificações e objetivos previamente estabelecidos, procede-se a um estudo da energia produzida pelo módulo fotovoltaico e do consumo que o equipamento de refrigeração deverá ter. Conclui-se que a energia produzida seria suficiente para alimentar o equipamento de refrigeração para os meses compreendidos entre Maio e Setembro durante o horário de funcionamento estabelecido. Seguidamente procede-se ao desenvolvimento das soluções para o sistema de alimentação solar, as quais são posteriormente alvo de uma avaliação com recurso a pontuações de “utilidade” em que, a cada critério (objetivo) é atribuído um peso relativo e uma pontuação. Conclui-se que a melhor solução será a solução com baterias de lítio que, apesar de um investimento inicial mais elevado, apresenta vantagens a nível de peso e tempo de vida útil, sendo esta a solução tecnologicamente mais evoluída.

Keywords: radiação, fotovoltaico, ganhos térmicos, energia, bateria.

Abstract

The presente dissertation deals with the study and development of a vehicle partially powered with photovoltaic energy for sale of chilled products. This project was created in partnership with the company Dst Solar S.A. under an intership made during this dissertation.

The primary objective of this project is to present the potencial use of photovoltaics in order to encourage their use and generalization of this technology on society. This dissertation focuses on the energy system module, which were developed five (5) potential solutions with system voltages of 12V and 24V.

This dissertation proposes not to submit the complete project, but to describe the main aspects involved, especially the solar power system, formed by a photovoltaic panel, batteries and charge controller.

In this way, the thesis will describe the main characteristics of PV modules, batteries and charge controllers, focusing on off-grid systems.

Additionally are discussed concepts relating to the calculation of thermal gains in refrigeration systems, as a way of consumption estimation, inherent to the operation of the freezer.

The design methodology applied uses a systematic and objective approach, which are established the goals, functions and subfunctions structure, specifications and requirements that the project should obey.

From that specifications and objectives previously established, its made a study of the energy produced by the PV module and consumption that refrigeration equipment should have, for this particular application.

It is concluded that the energy produced would be enough to power the refrigeration equipment during the operation hours (between 9am and 6pm) for the months between May and September.

Next, comes the development of the solutions for the power supply, and then its made an evaluation based on scores of “utility” where each criterion (objective/goal) is assigned a relative weight and a score.

It is concluded that the best solution is the solution with lithium-ion battery that, despite having a higher initial investment, offers advantages in terms of weight and service life, being this the most technologically evolved solution.

It is also made na economic feasibility analysis to assess whether the investment will be profitable concluding that at first sight this is economically viable.

Keywords: radiation, photovoltaic, termal gains, energy, battery.

Índice

Agradecimentos	v
Resumo.....	vii
<i>Abstract</i>	ix
Índice.....	xi
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas.....	xvii
Abreviaturas e Símbolos	xix
Capítulo 1. Introdução.....	1
1.1 Motivação e Objetivos.....	1
1.2 Apresentação da Empresa	2
1.3 Estrutura da Dissertação	3
Capítulo 2. Revisão Bibliográfica.....	5
2.1 Energia Solar.....	5
2.1.1 Radiação Solar	5
2.1.2 Condicionantes meteorológicas.....	6
2.2 Energia Fotovoltaica	7
2.2.1 Potencial e Produção de Energia Fotovoltaica em Portugal e na Europa.....	8
2.2.2 A célula Fotovoltaica	10
2.2.3 Condições de Referência.....	13
2.2.4 Potência e Rendimento	13
2.2.5 Influência da Radiação Incidente e da Temperatura.....	15
2.2.6 Sistemas Fotovoltaicos.....	15
2.3 Baterias	18
2.3.1 Parâmetros Gerais das Baterias	20
2.3.2 Cálculo da Capacidade (Ah)	23
2.3.3 Baterias Chumbo-ácido (<i>Lead-Acid</i>).....	24
2.3.4 Baterias de Iões de Lítio (<i>Lithium-Ion</i>)	26
2.3.5 Comparação Chumbo-ácido (LA) vs Iões de Lítio (LI)	26

2.3.6	LCEO – <i>Levelised Cost of Energy</i>	28
2.4	Controlador de Carga.....	29
2.4.1	Técnicas de Gestão Energia (PWM; MPPT).....	30
2.5	Sistemas de Refrigeração.....	32
2.5.1	Sistema de refrigeração por Compressão de Vapor	32
2.5.2	Ganhos térmicos	35
	Capítulo 3. Metodologia do Projeto	43
3.1	Clarificação do Problema e Estabelecimento de Objetivos.....	44
3.2	Estabelecimento da Estrutura de Funções do Veículo	45
3.3	Estabelecimento das Especificações do Veículo	47
	Capítulo 4. Conceção e Desenvolvimento do Sistema de Alimentação do Veículo	51
4.1	Sistema de Alimentação Solar.....	51
4.1.1	Aplicação do Modelo da Célula Fotovoltaica	52
4.1.2	Especificação das Condições de Trabalho.....	56
4.1.3	Identificação da Situação Crítica (localidade e mês)	57
4.1.4	Cálculo da Potência (W) e da Energia Produzida (Wh)	60
4.1.5	Cálculo dos Consumos do Equipamento	65
4.1.6	Comparação entre a Energia produzida e Energia consumida	76
4.1.7	Dimensionamento das Baterias e Configuração do Sistema de Alimentação	79
4.1.8	Resumo das Soluções concebidas	89
4.2	Avaliação das Soluções	93
4.3	Estudo Viabilidade Económica.....	94
4.4	Detalhes: Condições de Utilização	100
4.5	Conceção da Estrutura (Chassi)	101
	Capítulo 5. Conclusão e Sugestões para Trabalhos Futuros.....	105
5.1	Conclusão	105
5.2	Sugestões para Trabalhos Futuros	107
	Capítulo 6. Bibliografia	111
	Anexo I – Aspectos acerca de Baterias	119
	Anexo II – Modelo Matemático da Célula Fotovoltaica	123
	Anexo III – Cálculo de Energia produzida/ Rendimento	127
	Anexo IV – Catálogos.....	129
	Anexo V – Orçamento das Soluções.....	141
	Anexo VI – Avaliação Soluções: Método dos Objetivos Ponderados	145
	Anexo VII – Conceitos acerca de Dinâmica de Veículos <i>3-Wheelers</i>	147
	Anexo VIII – Conceitos Geometria Sol/Terra.....	155

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Gamas nominais de absorção e dispersão da radiação solar incidente global. Adaptado (William B. Stine, 2001).	7
Figura 2.2 – Aumento cumulativo da capacidade fotovoltaica global. Adaptado (IEA, 2015).	8
Figura 2.3 - Irradiação anual incidente num plano com inclinação ótima (IET, 2015).	9
Figura 2.4 – Evolução da produção fotovoltaica em Portugal (DGEG, 2014).	9
Figura 2.5 – Constituição de uma célula fotovoltaica típica de silício (ILSE).	10
Figura 2.6 – Exemplo de tipos de célula/painel monocristalino, Policristalino e amorfo.	12
Figura 2.7 – Fator forma na curva característica IV (Photovoltaic Cell I-V Characterization, 2015).	14
Figura 2.8 – Configuração básica de um sistema fotovoltaico (Emanuel, 2009).	16
Figura 2.9 – Exemplo de sistema fotovoltaico isolado. Adaptado (Portal Energia, 2015).	17
Figura 2.10 – Sistema Fotovoltaico ligado à rede elétrica.	17
Figura 2.11 – Exemplo de sistema híbrido. Adaptado (Portal Energia, 2015).	18
Figura 2.12 – Variação da capacidade (%) com a variação da temperatura e do tempo de descarga (Albright, Edie, & Al-Hallaj, 2015).	20
Figura 2.13 – Relação entre a DoD e o número de ciclos para as baterias marca <i>Hoppecke Solar.bloc</i>	21
Figura 2.14 – Exemplo de ligação em série/paralelo de baterias	23
Figura 2.15 – Representação esquemática duma bateria do tipo VRL- AGM (AGM Sealed , 2015).	25
Figura 2.16 – Comparação do tempo de vida (número de ciclos) entre baterias de Lítio e AGM (Albright, Edie, & Al-Hallaj, 2015).	27
Figura 2.17 – Exemplo para uma bateria Chumbo-ácido do número ciclos de vida previsto, e correspondente LCOE (Rodriguez, 2015).	28
Figura 2.18 – Representação esquemática do controlador de carga.	29
Figura 2.19 – Exemplo da potência retirada pelo método PWM e MPPT (Victron Energy, 2014).	30

Figura 2.20 – Exemplo da tensão do CC (V_{pwm}) comparativamente ao ponto de potência máxima (Victron, 2014).	31
Figura 2.21 – Representação da atuação de um controlador de carga com MPPT (Victron, 2014).	32
Figura 2.22 – Esquema básico de um ciclo de compressão de vapor (ASHRAE, 1998).....	34
Figura 2.23 - Situação típica de permuta de ar entre o espaço interior e exterior (ASHRAE, Refrigeration Load, 2002).	38
Figura 3.1 – Árvore de Objetivos.....	45
Figura 3.2 – Função Global em termos de <i>Inputs</i> e <i>Outputs</i>	46
Figura 3.3 – Estrutura das Subfunções do Produto/Veículo.....	46
Figura 3.4 – Representação do fluxo de energia do veículo ao longo das 24 horas (SECOP, 2012).	49
Figura 3.5 – Metodologia de Dimensionamento adotada para o Sistema de Alimentação Solar.	50
Figura 4.1 - Curva característica I-V e P-V para condições STC.	53
Figura 4.2 - Variação da curva característica I-V para diferentes temperaturas (radiação incidente = 1000 W/m^2).	54
Figura 4.3 - Variação da curva característica P-V para diferentes temperaturas (radiação incidente = 1000 W/m^2).	54
Figura 4.4 - Variação da curva característica I-V para diferentes intensidades de radiação incidente ($T=25^\circ\text{C}$).	55
Figura 4.5 - Variação da curva característica P-V para diferentes intensidades de radiação incidente ($T=25^\circ\text{C}$).	55
Figura 4.6 - Irradiância $G \text{ (W/m}^2\text{)}$, representa a variação da radiação solar incidente em Lisboa, para um dia típico do mês de Julho. Inclinação: 0° , Orientação: 0°	57
Figura 4.7 - Irradiação média ($\text{Wh/m}^2\text{/dia}$) em Porto, Lisboa e Faro, ou seja, energia por unidade de área para um dia típico do mês.	58
Figura 4.8 – Total de radiação solar incidente no painel fotovoltaico durante as horas de operação.	58
Figura 4.9 - Irradiância recebida na cidade do Porto por um plano horizontal (linha azul) e um plano 2-axis (linha laranja) para um dia típico de operação (9-18 horas) do mês de Setembro.....	59

Figura 4.10 - Variação da temperatura média (cidade Porto) ao longo de um dia típico de Setembro.	59
Figura 4.11 - Variação da temperatura/eficiência dos módulos ao longo do dia típico de Setembro (9-18h).	61
Figura 4.12 - Potência instantânea produzida ao longo de um dia típico, na cidade do Porto para mês de Setembro (9-18h).	61
Figura 4.13 - Estimativa da energia produzida por ambos os módulos (horizontal;2-axis) para os meses em estudo, durante o dia típico (9-18h).	62
Figura 4.14 – Energia Produzida Mensal Acumulada pelo módulo fotovoltaico Horizontal (kWh).	63
Figura 4.15 - Incremento de energia produzida pelo módulo 2-axis (%) comparativamente ao módulo horizontal.	64
Figura 4.16 – Incremento médio de ganho de energia (percentagem) pelo módulo 2-axis.	64
Figura 4.17 – Dimensões (mm) das respetivas embalagens <i>Cornetto's</i> e <i>Magnum's</i>	66
Figura 4.18 – Configurações das arcas frigoríficas (2D), vista de cima e lateral.	68
Figura 4.19 – Arca standart – numeração dos lados.	68
Figura 4.20 – “Peso” energético dos Horário de Operação/Não-Operação.	75
Figura 4.21 – Diminuição progressiva da energia produzida pelo módulo ao longo do tempo de vida para o mês de Setembro nas 3 localidades em estudo (Porto, Lisboa e Faro).	78
Figura 4.22 – Tensões de sistema aconselhadas (SEIAPI, 2012).	79
Figura 4.23 - <i>Steca PR1515</i> (esquerda); <i>Steca Solarix MPPT 2010</i> (centro); <i>BluePower MPPT100/30</i> (direita).	83
Figura 4.24 – <i>VE.Bus BMS</i> (direita) e <i>BMV-700+Shunt</i> (direita).	84
Figura 4.25 – Principais parâmetros das baterias analisados para cada solução estudada.	88
Figura 4.26 – Esquema Solução 1.1 – 12V.	89
Figura 4.27 – Esquema Solução 1.2 – 6+6V em Série.	90
Figura 4.28 – Solução 1.3 – 12+12V em Paralelo.	90
Figura 4.29 – Solução 2 (24V).	91
Figura 4.30 – Solução 3 (12.8V).	92
Figura 4.31 – VAL (25 anos).	99

Figura 4.32 – Esboço do chassi.	102
Figura 4.33 – Exemplo da colocação do painel fotovoltaico.	103

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Eficiências das células solares fotovoltaicas. Dados: Fraunhofer ISE, Universidade de Stuttgart, 26th IEEE PVSC, NREL, UNSW, folhas de cálculo de vários fabricantes.....	12
Tabela 2.2 – Comparação das características principais dos diferentes tipos de baterias (Valsera-Naranjo & et al, 2009).....	19
Tabela 3.1 – Lista de Objetivos	44
Tabela 3.2 – Estabelecimento dos Atributos de Desempenho	48
Tabela 3.3 – Estabelecimento dos Requisitos de Desempenho	48
Tabela 4.1 - Especificações do módulo fotovoltaico utilizado.....	53
Tabela 4.2 - Locais que serão alvo de análise (Porto, Lisboa, Faro)	57
Tabela 4.3 – Variação da Temperatura Média Mensal para Porto, Lisboa e Faro. Valores obtidos em (IET, 2015).....	58
Tabela 4.4 – Parâmetros estabelecidos para o Horário de Operação e Horário Não-Operação..	65
Tabela 4.5 - Dimensões e capacidades das embalagens Cornetto e Magnum	66
Tabela 4.6 – Configuração interior de cada compartimento e respetiva capacidade	67
Tabela 4.7 - Dimensões totais (com isolamento) e respetivas áreas de abertura para as configurações analisadas.....	67
Tabela 4.8 - Áreas das paredes da arca congeladora e respetivos ganhos térmicos totais por transmissão (W)	69
Tabela 4.9 - Propriedades físicas do ar refrigerado (interior), ar infiltrado (1,2).....	70
Tabela 4.10 - Parâmetros considerados no cálculo dos ganhos térmicos por infiltração de ar... 70	70
Tabela 4.11 – Cálculos obtidos para os ganhos térmicos por infiltração, consoante a configuração (Horário de Operação).....	71
Tabela 4.12 - Cálculos obtidos para os ganhos térmicos por infiltração, consoante a configuração (Horário Não-Operação).	72
Tabela 4.13 - Carga Térmica por Produtos para cada configuração.....	73
Tabela 4.14 - Quadro resumo do total de ganhos térmicos (potência e energia); Potência do compressor necessário e Tempo de venda estimado.....	74

Tabela 4.15 - Quadro resumo do total de ganhos térmicos (potência e energia) para o Horário Não-Operação.....	75
Tabela 4.16 – Quadro comparativo entre a energia consumida.....	76
Tabela 4.17 - Características de funcionamento para dimensionamento do sistema de armazenamento.....	86
Tabela 4.18 – Cálculos relativos à obtenção da capacidade (Ah) necessária das baterias	87
Tabela 4.19 – Cálculos do sistema de armazenamento para as soluções em estudo.....	87
Tabela 4.20 – Valores dos critérios adotados para avaliação.....	94
Tabela 4.21 – Avaliação das Soluções segundo escala de 5 e 10 classes.	94
Tabela 4.22 – Variáveis adotadas para o estudo de viabilidade económica.....	97
Tabela 4.23 – Cálculos das receitas e despesas, receita líquida (e atualizada) e o VAL, ao longo do tempo de vida útil do investimento.	98
Tabela 4.24 – Indicadores económicos	98

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

AC	<i>Alternate Current</i> (Corrente Alternada)
BMS	<i>Battery Management System</i>
DC	<i>Direct Current</i> (Corrente Contínua)
DoD	<i>Depth of Discharge</i> (Profundidade de Descarga da Bateria)
FF	Fator Forma do módulo fotovoltaico
FVLA	<i>Free Vented Lead-Acid battery</i>
LA	<i>Lead Acid battery</i> (baterias Chumbo-ácido)
LCOE	<i>Levelized Cost of Energy</i>
LI	<i>Lithium-Ion battery</i> (bateria de íões de lítio)
MPP	<i>Maximum Power Point</i>
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracker</i>
NOCT	<i>Nominal Operating Cell Temperature</i>
PWM	<i>Module Width Modulation</i>
STC	<i>Standart Test Condition</i>
VRLA	<i>Valve-Regulated Lead-acid battery</i>

Lista de símbolos

A	Área[m ²]
C	Capacidade da bateria [Ah]
C _{inf}	Coeficiente típico de infiltração [=0.692]
C _p	Calor específico dos produtos [kJ/kg.K]
C ₁₀	Capacidade da bateria no regime de 10 horas [Ah]
D _t	Fator tempo de abertura das portas
D _f	Fator de escoamento de ar
F _m	Fator densidade
G	Irradiância [W/m ²]

H	Altura da porta [m];
H_i	Irradiação média num plano horizontal por unidade de área [kWh/m ² /dia]
h_{ext}	Coefficiente de convecção na superfície externa [W/m ² K]
h_{int}	Coefficiente de convecção na superfície interna [W/m ² K]
h_i	Entalpia específica de entrada do ar [kJ/kg]
h_r	Entalpia do interior [kJ/kg]
I_o	Corrente inversa máxima de saturação [A]
I_{max}	Corrente máxima módulo fotovoltaico [A]
I_{sc}	Corrente de circuito aberto do módulo [A]
k	Condutividade térmica do isolamento [W/m.K]
L	Espessura do isolamento [m]
m	Fator de idealidade do diodo
m'	Fator idealidade equivalente
\dot{m}	Caudal mássico de produtos (gelados) [kg/s]
P	Potência elétrica [W]
q_t	Ganho térmico médio por 24h ou outro período [kW]
\dot{Q}	Ganho térmico [W]
R_i	Resistência interna da bateria [Ω]
T_{amb}	Temperatura ambiente [$^{\circ}$ C]
T_c	Temperatura de trabalho das células do módulo [$^{\circ}$ C]
T_{ext}	Temperatura exterior [$^{\circ}$ C]
T_{refrig}	Temperatura do espaço refrigerado [$^{\circ}$ C]
U	Coefficiente global de transferência calor [W/m ² .K]
V_{max}	Tensão máxima módulo fotovoltaico [V]
V	Tensão do sistema [V]
V_{oc}	Tensão de circuito aberto do módulo [V]
V_T	Potencial elétrico [V]
η_c	Eficiência (rendimento) corrigido [%]
$\eta_{nominal}$	Eficiência (rendimento) nominal [%]
ρ_r	Massa volúmica do ar refrigerado interior [kg/m ³]
ρ_i	Massa volúmica do ar infiltrado exterior [kg/m ³]
xx	

θ_p	Duração abertura [s/abertura]
θ_o	Tempo efetivo o qual permanece aberta [s]
θ_d	Tempo diário de funcionamento [h]

Capítulo 1. Introdução

O presente documento foi realizado no âmbito da unidade curricular Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica na Universidade do Minho e provém da sugestão de iniciar um projeto de conceção de um equipamento com recurso a tecnologias renováveis (fotovoltaica) proporcionado por um estágio curricular realizado na empresa Dst Solar.

1.1 Motivação e Objetivos

O projeto apresentado nesta dissertação nasceu do estágio curricular efetuado na Empresa DST Solar S.A. dum apelo efetuado pela administração da empresa a todos os colaboradores, num esforço de inovação dentro da organização. O Departamento de Inovação apresentou o projeto de uma ideia para um produto inovador e com potencial de comercialização em vários países/mercados que possuam uma exposição solar semelhante a Portugal.

Um negócio que todos conhecem é a “venda ambulante” pois é comum depararmo-nos com esta em muitos locais, nomeadamente, na rua, em praias ou em zonas turísticas. Praticamente todos os locais que possuam elevada circulação de pessoas tem um potencial de venda elevado para este tipo de negócio, podendo-se relevar bastante rentável.

A empresa pretende um veículo para venda ambulante de produtos refrigerados (gelados) que seja alimentado por um painel fotovoltaico, de preferência, da marca *Globalsun*. A liberdade de soluções concedida foi bastante elevada, deste modo, houve a necessidade de desenvolver e definir alguns conceitos (ideias) associadas ao projeto deste veículo.

A ideia do projeto passa pelo desenvolvimento de um veículo eficiente e sustentável na medida em que uma parte da energia necessária para o seu funcionamento seja proveniente de um painel fotovoltaico. Este veículo seria prático, fácil manuseio e transporte para os locais de venda. Foi pensado para operar entre os meses compreendidos entre maio e setembro, a altura mais propícia do ano para a produção de energia fotovoltaica, bem como para a venda deste tipo de produtos

(gelados). Deverá ser um veículo chamativo e atrativo para a promoção de uma marca ou para venda de produtos alimentares típicos de verão (gelados). O contacto com o cliente será muito próximo na medida que, pelo facto de não ser um veículo motorizado, poderá aceder a locais de grande afluência de pessoas (contacto direto), ao qual os veículos motorizados estão muitas vezes impedidos.

Devido à extensão deste projeto, o foco desta dissertação recairá sobre o sistema de alimentação energético que envolve a produção de energia pelo módulo fotovoltaico, a gestão dessa energia, configuração do sistema e o cálculo dos consumos associados ao módulo de refrigeração o que condicionará a categoria de produtos refrigerados a armazenar.

Adicionalmente existem outras possíveis aplicações para este veículo, como por exemplo, um reboque para campismo com uma arca refrigeradora e outros acessórios (por exemplo, plataforma *WiFi*, tomadas para carregamento de dispositivos eletrónicos, etc.).

1.2 Apresentação da Empresa

A empresa Domingos Teixeira da Silva fundada nos anos 40 pela família Silva Teixeira, desenvolve a sua atividade principal nos sectores da Engenharia de Construção Civil e Obras Públicas, mas também noutros sectores como Água e tratamento de Resíduos, Energias Renováveis, Telecomunicações, I&D e outras áreas como Artes e Literatura. Nas últimas décadas tem-se projetado não só a nível nacional como a nível internacional.

A Dst Solar-Renováveis é uma empresa do Grupo Dst especializada na prestação de serviços de engenharia no âmbito da produção de energia com base em fontes renováveis, nomeadamente energia solar fotovoltaica. Nos últimos anos tem-se afirmado como um dos principais *players* neste sector em Portugal. Tendo em conta que este é um mercado em crescimento acelerado e de forte potencial, o grupo tem vindo a investir com vista a reforçar e consolidar, de forma sustentável, a sua posição na produção e comercialização de energia proveniente de fontes renováveis.

1.3 Estrutura da Dissertação

O presente documento divide-se em seis capítulos os quais obedecem a uma ordem lógica que visa facilitar a interpretação, compreensão e organização.

No capítulo 1 é apresentado a motivação e os objetivos que incentivaram a realização desta dissertação, bem como a apresentação da empresa que o possibilitou.

No capítulo 2, Revisão Bibliográfica, retrata-se a radiação solar e os principais aspetos relacionados com a produção de energia fotovoltaica, com relevância para os sistemas autónomos (*off-grid*). Abordam-se especificamente o funcionamento dos módulos fotovoltaicos (subcapítulo 2.2), as baterias de chumbo-acido e de lítio e os seus parâmetros gerais (subcapítulo 2.3), bem como os controladores de carga que fazem a gestão do funcionamento de todo o sistema (2.4). No subcapítulo 2.5 (Sistema de Refrigeração) aborda-se o sistema de refrigeração mais utilizado atualmente (compressão de vapor) e os ganhos térmicos estimados para uma arca frigorífica sujeita deste neste tipo de aplicação (neste caso refrigeração de gelados – frio negativo). Aprofunda-se mais este último ponto relativamente aos ganhos térmicos por transmissão, infiltração de ar e por entrada de produtos, pois são estes os mais relevantes para este projeto (os ganhos térmicos por radiação são igualmente importantes no entanto não foram considerados nesta dissertação). O correto cálculo dos ganhos térmicos determinará o consumo de energia que o sistema de alimentação terá de suportar.

O capítulo 3 aborda a metodologia utilizada no projeto baseada nos conhecimentos adquiridos durante a formação no curso de Engenharia Mecânica na Univerdade do Minho. Aí são estabelecidos os objetivos específicos do produto, as especificações e requisitos que este deverá possuir, bem como a metodologia utilizada para dimensionamento do sistema de alimentação solar.

O capítulo 4 incide sobre a conceção e desenvolvimento do produto, onde é aplicado o modelo matemático de desempenho elétrico de um módulo da empresa. Seguidamente procede-se ao estabelecimento das condições de operação, seleção dos locais prováveis de operação e escolha da situação crítica, cálculo da energia produzida e energia consumida, conceção das possíveis soluções (5) e dimensionamento do sistema de armazenamento. Posteriormente é efetuada uma avaliação das soluções desenvolvidas quanto aos critérios considerados mais relevantes, bem

como uma avaliação da viabilidade económica do projeto. Refere-se ainda uma lista resumo das condições de utilização do produto.

No capítulo 5, são feitas as considerações gerais acerca deste estudo realizado bem como sugestões de trabalhos futuros.

Por fim no capítulo 6, são apresentadas as fontes bibliográficas consultadas.

Capítulo 2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo aborda-se a energia solar e o modo como se consegue obter energia através desta, pela utilização de células fotovoltaicas. São abordados os principais componentes dos sistemas *off-grid*: o módulo fotovoltaico, constituído por associação de células em paralelo e em série, o sistema de armazenamento (baterias) e os controladores de carga que estão responsáveis pela gestão de controlo de todo o sistema. São igualmente abordados os princípios básicos da refrigeração por compressão de vapor e os ganhos térmicos de energia para o módulo de refrigeração.

2.1 Energia Solar

2.1.1 Radiação Solar

O sol é a maior fonte de energia do planeta e encontra-se no centro do sistema solar, emitindo energia sob a forma de radiação eletromagnética, a uma taxa relativamente constante, durante 24 horas por dia, 365 dias por ano. Esta energia é a fonte primária de todas as formas de energia conhecidas na Terra e está na origem dos movimentos da atmosfera e dos oceanos, da vida vegetal e animal. A quantidade de energia proveniente do sol que atinge a superfície da Terra corresponde, aproximadamente, a dez mil vezes (10000x) a procura global de energia, pelo que satisfazer as necessidades energéticas da humanidade bastaria utilizar 0.01% dessa energia (Susana, 2008).

Segundo (William B. Stine, 2001), com apenas 10 hectares da superfície do sol, seria possível obter energia suficiente para colmatar as necessidades energéticas da humanidade, no entanto existem três obstáculos: primeiro, apenas uma pequena fração dessa energia chega à Terra; segundo, devido ao movimento de rotação da Terra sobre o seu eixo, um dispositivo coletor

localizado à sua superfície apenas recebe essa energia durante cerca de metade dum dia; terceiro, e menos previsível, é a influência da atmosfera que na melhor das hipóteses, é responsável pela redução de 30% da energia emitida pelo sol numa determinada superfície. As condições meteorológicas podem dificultar ainda mais esta receção de energia, reduzindo essa energia, por vezes, durante vários dias consecutivos. Assim, existem dois fenómenos que vão influenciar o percurso da radiação solar através da atmosfera, atenuando a quantidade de energia: a geometria Sol-Terra e os fatores meteorológicos.

A radiação emitida pelo Sol que chega à atmosfera terrestre tem pouca variação. (Iqbal, 1983) define como constante solar (I_{sc}), a quantidade de energia por unidade de tempo proveniente do Sol, que atinge uma superfície perpendicular aos raios solares, localizada fora da atmosfera, para uma distância média Sol-Terra de 1.5×10^8 km. O valor da radiação solar que atinge a zona exterior da atmosfera varia na ordem dos 3%, isto porque a distância entre Sol-Terra varia ao longo do ano. O valor adotado pelo *World Radiation Center* (WRC) é baseado numa média de valores obtidos por diversos satélites ao longo dos anos e tem o valor:

$$I_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$$

Partindo deste valor é possível calcular a irradiação terrestre diária (ou outro intervalo de tempo) para uma superfície horizontal. A taxa de energia por unidade de área que atinge a Terra é conhecida como “irradiância” (W/m^2) e é uma medida de energia instantânea que varia ao longo do tempo. A quantidade de energia que um plano recebe ao longo de um período de tempo é conhecido como “irradiação” e as unidades medem-se Joules por metro quadrado (J/m^2), mas frequentemente usa-se Watt-hora por metro quadro (Wh/m^2).

2.1.2 Condicionantes meteorológicas

A passagem da radiação solar (extraterrestre) pela atmosfera provoca uma redução de cerca de 30% num dia de céu limpo, e cerca de 90% num dia com muitas nuvens. A radiação solar global é composta pela soma da radiação direta e radiação difusa (radiação solar “espalhada” pelas nuvens e poeiras da atmosfera). A figura seguinte mostra a radiação solar incidente (I_{sc}) que atinge a camada exterior da atmosfera, e as gamas de absorção e dispersão que ocorrem até esta atingir a superfície terrestre.

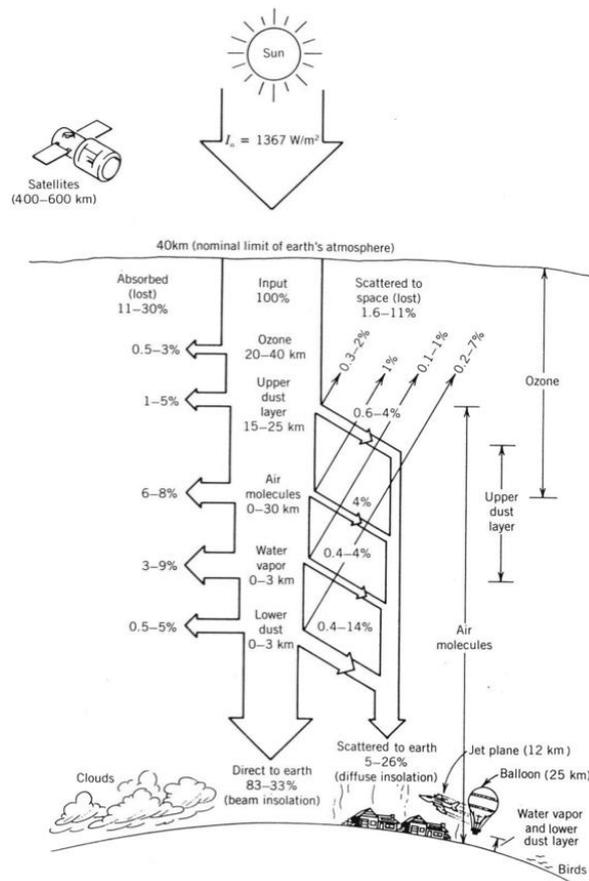


Figura 2.1 - Gamas nominais de absorção e dispersão da radiação solar incidente global. Adaptado (William B. Stine, 2001).

2.2 Energia Fotovoltaica

Na última década existiu um forte incentivo global para desenvolvimento de tecnologias para produção de energia proveniente de recursos renováveis. O objetivo primário é evitar as alterações climáticas e produzir energia limpa que promova o desenvolvimento e crescimento sustentável das sociedades. A energia solar é o recurso energético mais abundante no planeta Terra e que irá seguramente contribuir para a redução da dependência energética a que muitos países estão sujeitos atualmente (IEA, 2015).

Ao longo dos últimos anos, os sistemas fotovoltaicos tem vindo a afirmar-se no mercado da produção de energia elétrica fruto dos investimentos em pesquisa e otimização da tecnologia, contribuindo para a redução do preço destes sistemas, tornando-os economicamente viáveis. Um sistema fotovoltaico compreende um conjunto de módulos em painéis fotovoltaicos, e de outros componentes eletrônicos, que transformam e armazenam energia elétrica para ser utilizada em diferentes aplicações. As tecnologias relacionadas com o aproveitamento da energia solar para a

produção direta de eletricidade baseiam-se fundamentalmente, na utilização de materiais semicondutores que permitem que ocorra a transformação dos fotões de energia da radiação solar em energia eléctrica. Este processo deve-se ao efeito fotovoltaico que consiste no aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor. Este efeito foi observado pela primeira vez por Becquerel em 1839, mas o seu desenvolvimento e utilização começaram nos anos 50, impulsionado pela conquista espacial (Carneiro, 2010).

2.2.1 Potencial e Produção de Energia Fotovoltaica em Portugal e na Europa

Desde 2010, a capacidade mundial instalada em energia solar fotovoltaica quadruplicou, relativamente às quatro décadas anteriores. Só em 2013 foram instalados em média 100 megawatts (MW) de energia solar fotovoltaica por dia, e no início de 2014, a capacidade mundial já ultrapassava a marca dos 150 gigawatts (Figura 2.2):

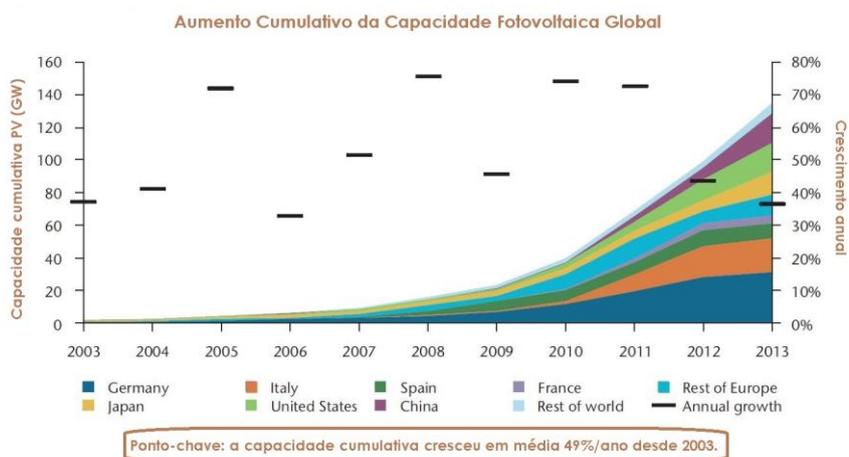


Figura 2.2 – Aumento cumulativo da capacidade fotovoltaica global. Adaptado (IEA, 2015).

Este aumento proporcionou uma descida do preço de mercado dos painéis fotovoltaicos (num fator de até 5 vezes para os módulos, e 3 vezes para sistemas), viabilizando economicamente o seu uso. Portugal, sendo um país muito dependente da importação de combustíveis fósseis, foi um dos grandes beneficiados por esta redução de preços, pois o potencial de aproveitamento de energia solar é enorme, possuindo uma localização privilegiada comparativamente aos restantes países da União Europeia. A Figura 2.3 mostra um mapa geográfico da exposição solar onde se observa a variação da irradiância nos diferentes países da Europa:

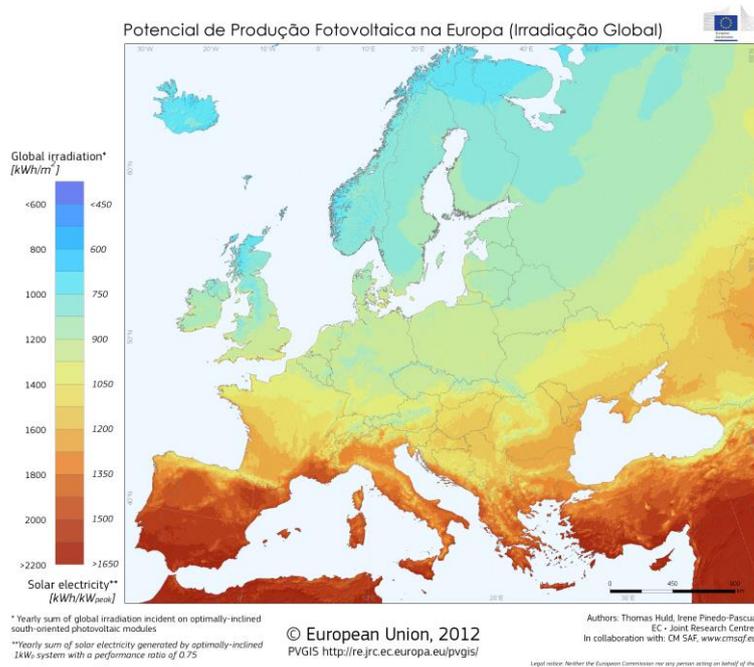


Figura 2.3 - Irradiação anual incidente num plano com inclinação ótima (IET, 2015).

Observando a Figura 2.3, verifica-se que os países mais propícios para a implementação de sistemas fotovoltaicos são Portugal, Espanha e Grécia com níveis de irradiação na ordem dos 1500 e 2200 kWh/m².

Assim, Portugal usufrui de cerca de 2300 horas/ano de insolação na Região Norte, e 3000 horas/ano no Algarve, possuindo um forte potencial para a aplicação deste tipo de energia (Susana, 2008). Relativamente ao crescimento dos sistemas fotovoltaicos, só em Portugal, entre 2007 e maio de 2014, houve um aumento de mais de 2000% de energia produzida por via fotovoltaica (Figura 2.4).

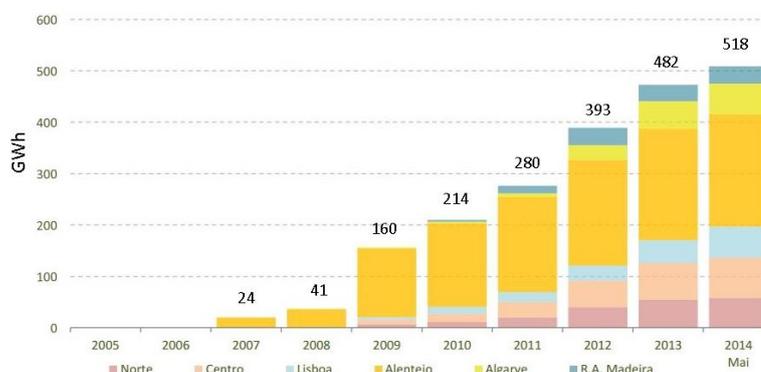


Figura 2.4 – Evolução da produção fotovoltaica em Portugal (DGEG, 2014).

2.2.2 A célula Fotovoltaica

Apresenta-se seguidamente uma breve abordagem do tipo de células fotovoltaicas mais utilizadas e disponíveis atualmente no mercado, bem como algumas características dos módulos fornecidas pelos fabricantes.

O silício é o material mais utilizado na produção de células fotovoltaicas. A célula é composta por duas camadas de silício ao qual são adicionadas substâncias (impurezas), formando a camada tipo n e tipo p, que possuem, respetivamente, excesso de cargas negativas e excesso de cargas positivas. Esta adição de impurezas é conhecido como processo de dopagem. A camada superior, orientada para os raios solares, está dopada com fósforo (silício tipo n), e a camada inferior está contaminada boro (silício tipo p). Na junção destas camadas (*pn junction*) é produzido um campo elétrico resultante da energia transferida pelos fotões (efeito fotovoltaico), que promove a separação de cargas (elétrões) da camada n para a camada p. Para criar o campo elétrico basta fechar o circuito colocando, na parte superior e inferior, contatos metálicos (*front contact;back contact*) que iram permitir a circulação de corrente elétrica. É também aplicado como revestimento uma película anti-reflexo (*anti-reflection coating*) que permite diminuir até 5% a reflexão da radiação incidente. A representação esquemática encontra-se na Figura 2.5:

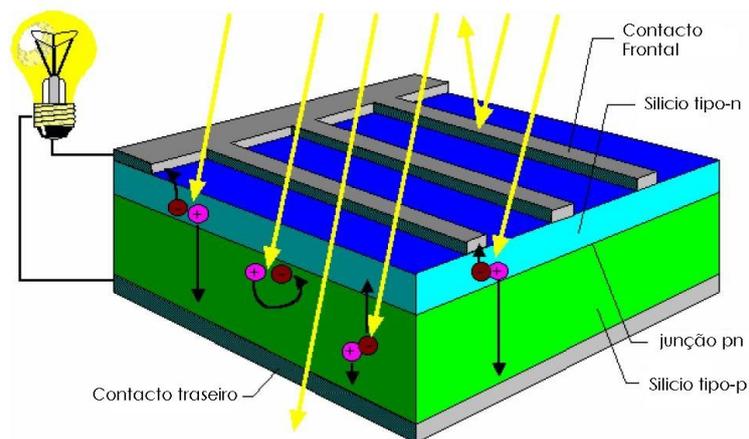


Figura 2.5 – Constituição de uma célula fotovoltaica típica de silício (ILSE).

As células mais utilizadas atualmente são as de silício cristalino do tipo monocristalino, policristalino e amorfo. Existem outros tipos de células já desenvolvidos a nível comercial, como por exemplo, as células de película fina (CIS¹ e CdTe²), as células híbridas (HCl³), entre outras. No entanto, a sua produção em série ainda não é economicamente viável, ou então apresentam rendimentos inferiores aos obtidos com a tecnologia de silício cristalino (ALTENER; Comissão Europeia, 2004).

Células silício Monocristalino

As células de silício monocristalino representam a 1ª geração da tecnologia fotovoltaica. Consiste no crescimento de um único cristal (monocristalino) de silício pela técnica de *Czochralski*, um processo caro e que gera desperdício de materiais, após o qual é moldado (esticado) e laminado, formando cristais de silício puro com forma redonda, semi-quadrada ou quadrada (cerca de 0.3 mm).

Células silício Policristalino

A menor eficiência do silício Policristalino, relativamente ao Monocristalino (ver tabela 2.1), é contrabalançada pelas vantagens que oferece em termos de preço final, que advém dos menores custos de fabrico. O processo de fabrico mais comum é a fundição em lingotes, após os quais são cerrados até à obtenção de pastilhas espessura de 0.3 mm.

Células silício Amorfo

As células de silício amorfo diferenciam-se das anteriores pois não possuem estrutura cristalina, sendo o silício depositado sob a forma de película fina sobre uma superfície de vidro ou filmes finos de metal. O rendimento deste tipo de painéis situa-se entre os 5-8%, no entanto, a vantagem é o seu processo de fabrico ser ainda menor do que para as células policristalinos.

¹ Células de Diselenieto de Cobre e Índio (rendimento 7.5-9.5%)

² Células de Telurieto de Cádmio (rendimento 6-9%)

³ Combinação entre célula solar cristalina e célula de película fina (rendimento 17.3%)

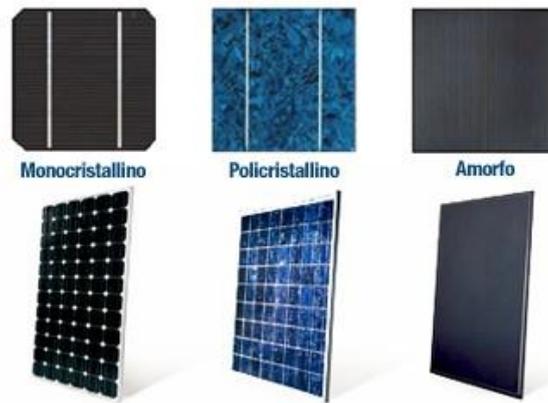


Figura 2.6 – Exemplo de tipos de célula/painel monocristalino, Policristalino e amorfo.

O rendimento típico destes módulos apresenta-se de seguida na tabela 2.1:

Tabela 2.1 - Eficiências das células solares fotovoltaicas. Dados: Fraunhofer ISE, Universidade de Stuttgart, 26th IEEE PVSC, NREL, UNSW, folhas de cálculo de vários fabricantes.

Material de célula solar	Rendimento Típico (%)	Rendimento máximo registado em laboratório (%)
Monocristalino	14-18	24
Policristalino	13-15	19.8
Amorfo	5-8	13
Silício cristalino de película fina	8-9.5	19.2
Célula solar Híbrida (HCl)	15-17	20.1
CIS	10-14	18.8
Telurieto de Cádmio	9-10	16.4

Para se poder obter potências maiores as células são associadas em paralelo e em série (chamados painéis ou módulos) de modo a obter as correntes e tensões desejadas. Tipicamente um módulo é constituído por associações de 36, 48 e 60 células.

A norma *Standart* EN 50380 estabelece quais as características técnicas que os fabricantes devem apresentar nas folhas descritivas das características dos módulos fotovoltaicos. Todos os valores são obtidos em condições de teste (STC) e são eles:

- Potência nominal de pico (W_p)
- Tensão no ponto de potência máxima (V_{MAX});
- Corrente no ponto de potência máxima (I_{MAX})
- Tensão em circuito aberto (V_{oc});

- Corrente em curto-circuito (I_{sc})
- Coeficiente de variação da tensão em função da temperatura V_{oc} (%/°C)
- Coeficiente de variação da corrente em função da temperatura I_{sc} (%/°C)
- Coeficiente de variação da potência em função da temperatura P_m (%/°C)

Estes valores são importantes para se poder realizar estimativas da quantidade de energia produzida bem como verificar a compatibilidade de ligação com outros componentes do sistema fotovoltaico (Castro, 2002).

2.2.3 Condições de Referência

As condições nominais de teste⁴ são valores de temperatura e radiação normalizados para a realização das medidas dos parâmetros característicos da célula, sendo:

- Temperatura: $T^{ref} = 298,15 \text{ } ^0\text{K} = 25 \text{ } ^0\text{C}$
- Radiação incidente: $G^{ref} = 1000 \text{ W/m}^2$

2.2.4 Potência e Rendimento

O ponto de potência máxima de saída obtida para condições STC designa-se potência de ponta⁵ e é dado por $P_{max} = V_{max} \times I_{max}$. Nas condições de referência será $V = V'_{max}$, $I = I'_{max}$ e $P = P'_{max}$.

V'_{oc} , I'_{sc} e P'_{max} são valores característicos da célula/módulo, sendo dados fornecidos pelo fabricante para as condições de referência. A maioria dos fabricantes também indica os valores de V'_{max} e I'_{max} . Segundo (Overstraeten & Mertens, 1996) é possível calcular a eficiência do módulo (η), multiplicando a potência de saída pela radiação incidente e pela área útil. Para condições de referência (STC), vem:

⁴ STC – *Standart Test Conditions*

⁵ Peak Power ou Maximum Power Point – MPP.

$$\eta^r = \frac{P^r}{G^r \times A} \quad (2.1)$$

Onde,

P = potência nominal [W]

G = irradiância solar = 1000 [W/m²]

A = área útil do módulo [m²]

Naturalmente que para outras condições de funcionamento será:

$$\eta = \frac{P}{G \times A}$$

Todos os módulos fotovoltaicos apresentam uma degradação progressiva ao longo dos anos de funcionamento. Geralmente os fabricantes garantem uma eficiência de 80% ao fim de 25 anos de funcionamento.

O quociente entre a potência de ponta e o produto $V_{OC}^r \cdot I_{SC}^r$ chama-se *fator forma* – FF (*fill factor*) e representa um parâmetro de desempenho fornecido pelos fabricantes.

$$FF = \frac{P^r_{max}}{V_{OC}^r \times I_{SC}^r} \quad (2.2)$$

As células de uso comercial apresentam um fator de forma entre 0.7 e 0.85. Naturalmente que será desejável trabalhar com células em que o *fator de forma* seja o maior possível.

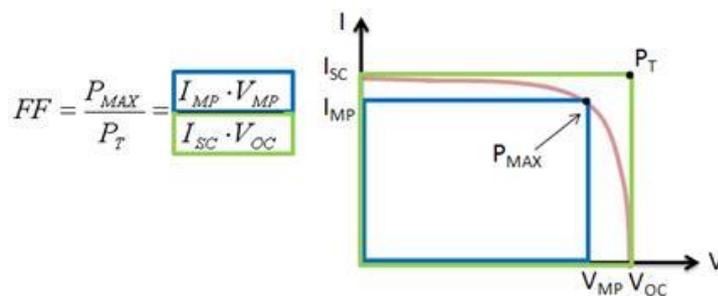


Figura 2.7 – Fator forma na curva característica IV (Photovoltaic Cell I-V Characterization, 2015).

2.2.5 Influência da Radiação Incidente e da Temperatura

A temperatura da célula fotovoltaica é um parâmetro importante devido à ocorrência do aumento de temperatura, resultante do facto de as células estarem expostas a radiação solar. Uma parte da radiação solar incidente não é convertida em energia elétrica, sendo dissipada sob a forma de energia térmica. Por esta razão, a temperatura da célula é sempre superior à temperatura ambiente, podendo ser calculada segundo a equação (2.3)

$$T_c = T_{amb} + \frac{G(NOCT - 20)}{800} \quad (2.3)$$

Em que NOCT representa a temperatura normal de funcionamento da célula; este valor é fornecido pelo fabricante e representa a temperatura atingida pela célula em condições “normalizadas” de funcionamento, definidas como $T_{ambiente} = 20^{\circ}\text{C}$ e $G=800 \text{ W/m}^2$.

A variação da temperatura (para uma dada radiação constante) provoca uma variação no ponto potência máxima dos módulos fotovoltaicos, i.e., o aumento de temperatura provoca uma “descida” do ponto de potência máxima. Para temperatura constante e radiação incidente variável, a diminuição da radiação provoca igualmente uma “descida” do ponto de potência máxima e vice-versa. Estas duas situações podem ser observadas mais adiante, aquando da aplicação do modelo matemático simplificado da célula fotovoltaica (subcapítulo 4.1.1).

2.2.6 Sistemas Fotovoltaicos

A produção de energia elétrica fotovoltaica possui vantagens e desvantagens relativamente aos modos de produção de energia convencionais (Solar Energy International, 2004):

Vantagens

- Simplicidade: devido á inexistência de partes móveis;
- Durabilidade: o tempo médio de vida é de cerca de 25 anos, sendo a garantia oferecida pelo fabricante, no mínimo, 25 anos;
- Fiabilidade: funcionam mesmo em ambientes exigentes;

- Manutenção: praticamente inexistente para sistemas fixos;
- Performance em altitudes elevadas;
- Independência: podem funcionar como sistemas isolados;
- Modularidade: facilidade de aumento da potência instalada;
- Segurança

Desvantagens

- Investimento inicial elevado;
- Recurso solar: limitados a locais com boa exposição solar;
- Armazenamento: a necessidade do uso de baterias que aumentam o custo e complexidade;
- Rendimento: atualmente possuem baixo rendimento de conversão (10-20%).

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em três categorias distintas: sistemas isolados; sistemas híbridos; e sistemas ligados à rede. Dependendo da aplicação, cada um dos sistemas pode ter várias configurações, desde um simples painel fotovoltaico ligado diretamente à carga, até sistemas mais complexos compostos por controladores de carga, inversores⁶, acumuladores, etc. A opção escolhida dependerá da aplicação, da disponibilidade dos recursos energéticos e do custo de implementação do sistema. Os sistemas fotovoltaicos obedecem a uma configuração básica, onde o sistema deverá ter uma unidade de controlo de potência e uma unidade de armazenamento.



Figura 2.8 – Configuração básica de um sistema fotovoltaico (Emanuel, 2009).

⁶ Inversor: equipamento que converte a corrente (DC) proveniente do painel fotovoltaico, em corrente AC, para alimentar por exemplo eletrodomésticos (que consomem corrente CA) ou para injeção na rede elétrica.

Sistemas Isolado

Os sistemas isolados (autónomos) são aplicados quando se pretende alimentar um conjunto de cargas sem a presença de rede elétrica. O dimensionamento deste tipo de sistemas é efetuado com base no mês de menor radiação solar. Este tipo de sistema deve incluir:

- Baterias: para assegurar a alimentação dos consumos (cargas) nos períodos em que a radiação solar não está disponível. As baterias são carregadas sempre que a potência gerada nos painéis é superior à potência de carga das baterias;
- Controlador de Carga: realiza a gestão de carga das baterias;
- Inversor: caso existam cargas alimentadas a corrente alternada (CA).

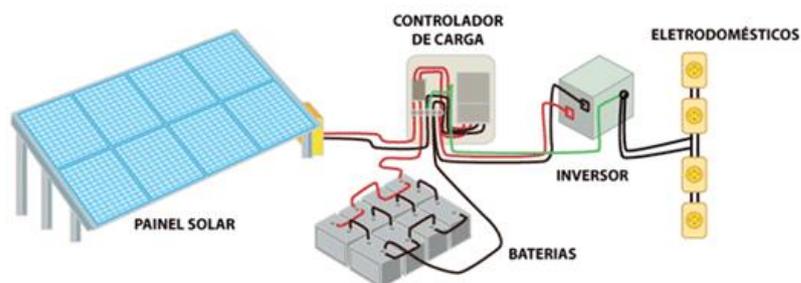


Figura 2.9 – Exemplo de sistema fotovoltaico isolado. Adaptado (Portal Energia, 2015).

Sistemas Ligados à Rede

Sistemas ligados à rede são aqueles que, como o próprio nome indica, estão ligados à rede elétrica. Geralmente os painéis fotovoltaicos funcionam como um fonte complementar ao sistema elétrico, em que toda a energia produzida é entregue à rede, onde o critério de dimensionamento é a maximização de energia produzida (não necessitam de armazenamento de energia). É fundamental que se utilize um inversor pois o sistema fotovoltaico produz corrente DC e a rede opera com corrente AC.

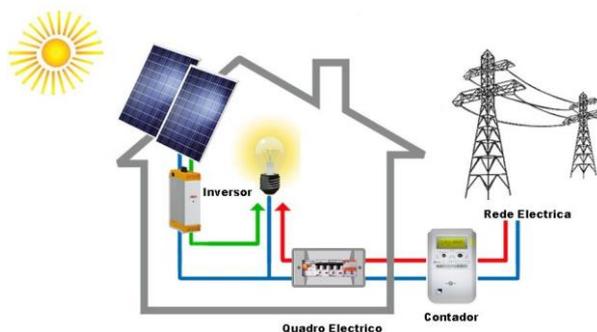


Figura 2.10 – Sistema Fotovoltaico ligado à rede elétrica.

Sistemas Híbridos

Os sistemas híbridos (isolados) são aqueles que além da energia fotovoltaica possuem sistemas complementares de energia, seja uma combinação de turbinas eólicas, turbinas hidráulicas, gerador a *diesel* ou outras. Devido à maior complexidade do sistema é necessário uma unidade de controlo capaz de integrar os vários sistemas e otimizar a operação do sistema.

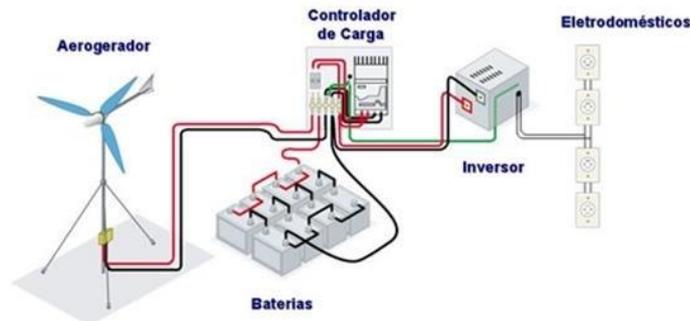


Figura 2.11 – Exemplo de sistema híbrido. Adaptado (Portal Energia, 2015).

2.3 Baterias

Devido à energia fotovoltaica não ser constante, é necessário um sistema que acumule a energia elétrica de modo a garantir a ininterruptão do funcionamento dos equipamentos. As baterias são associações em série ou em paralelo de células elétricas que permitem deste modo obter os valores de tensões e correntes desejados⁷. Uma bateria permite armazenar energia sob a forma de energia química e cede-la posteriormente quando for necessário.

Existem dois tipos de baterias:

- Primárias: não podem ser carregadas (ex: pilhas);
- Secundárias: podem ser carregadas e descarregadas durante um certo período de tempo, ao fim do qual vão perdendo as suas características iniciais (capacidade).

Classificação das baterias de acordo com a sua utilização:

- Baterias estacionárias;
- Baterias de arranque;
- Baterias para aplicações especiais (aplicações “mistas”).

⁷ Em série: soma-se as tensões (V); em paralelo: somam-se correntes (I)

Todas as baterias têm uma composição química diferente para atender a diferentes aplicações, e.g., para o arranque de um motor a bateria precisa de fornecer muita energia num curto período de tempo (baterias de arranque), no entanto para uma habitação, é necessária uma bateria com menor “caudal” de energia mas por um período de tempo mais prolongado (baterias estacionárias). Para veículos elétricos é necessário um compromisso entre ambos os aspetos. As baterias dividem-se essencialmente em quatro (4) tipos, frequentemente mais utilizados. Estas variam consoante a densidade de energia, tamanho e durabilidade. Na Tabela 2.2 encontra-se sistematizada uma comparação dos principais tipos de baterias (valores médios - podem variar ligeiramente consoante a tecnologia de construção aplicada pelo fabricante):

Tabela 2.2 – Comparação das características principais dos diferentes tipos de baterias (Valseira-Naranjo & et al, 2009)

	Chumbo-ácido	Ni-Cd	Ni-MH	Iões de Lítio
Custo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Tensão por célula (V)	2	1.25	1.25	3.6
Energia (Wh/kg)	30-50	50-80	40-100	160
Número de ciclos (aprox.)	200-500	1000	1000	1200
Auto descarga (%/mês)	<5	10	20	<5
Corrente de carga	Baixa	Muito Baixa	Moderada	Alta
Tempo mínimo de carga (h)	8-16	1-1.5	2-4	2-4
Impacto ambiental	Alto	Alto	Baixo	Alto

* Impacto de produção alto, no entanto é quase 100% reciclável.

2.3.1 Parâmetros Gerais das Baterias

As baterias apresentam alguns fatores que afetam o desempenho, entre eles, capacidade, auto descarga, profundidade de descarga, estado de carga, resistência interna, entre outros, os quais são abordados seguidamente (Seguel, 2009) (Vera, 2004).

Capacidade

A capacidade define a quantidade de energia elétrica que uma bateria pode fornecer durante uma descarga completa, expressa em Ampere-hora (Ah). A capacidade é influenciada pela velocidade e tempo de carga/ descarga da bateria, bem como da temperatura de operação. Deste modo, quanto maior a intensidade de corrente de descarga, menor é o valor da capacidade da bateria (comparativamente à capacidade nominal), e vice-versa. Importa referir que este comportamento não ocorre de forma linear.

Adicionalmente, a temperatura de operação também pesa na capacidade desta, sendo que, o aumento da temperatura produz um incremento de capacidade (e vice-versa). No entanto, a este aumento de temperatura está associada uma perda de fluido (solvente) e consequente diminuição da vida útil da bateria.

A capacidade nominal, fornecida pelos fabricantes, é o número de Ampere-hora que pode ser retirado duma bateria nova, plenamente carregada, para condições de operação específicas. Por norma, a capacidade é definida para um regime de descarga de 10/20/100 horas com corrente constante, à temperatura de 25°C, até à tensão final de cerca de 10.5 V por bateria (1.75V por célula). De notar que este valor (*cut-off voltage*) depende do tipo de tecnologia utilizada. Interessa referir que alguns fabricantes fornecem a capacidade nominal para um regime de descarga de 20 horas, a uma temperatura de 20°C.

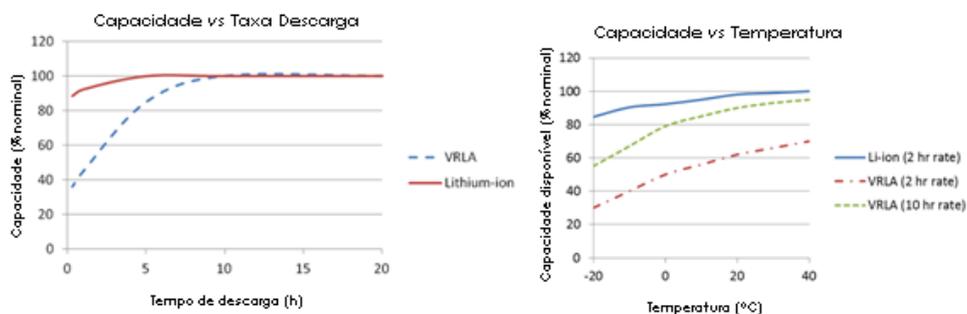


Figura 2.12 – Variação da capacidade (%) com a variação da temperatura e do tempo de descarga (Albright, Edie, & Al-Hallaj, 2015).

Profundidade de Descarga (DoD)

Conhecido como “*Depth of Discharge*”, a profundidade de descarga representa a percentagem da capacidade nominal da bateria que é retirada a partir do estado de plena carga (é o valor complementar do Estado de Carga). Quanto maior a profundidade de descarga (*DoD*), menor será o número de ciclos que uma bateria consegue realizar e, conseqüentemente, menor será a longevidade desta. Deste modo, a profundidade de descarga é um parâmetro muito importante no dimensionamento de sistemas devido ao facto de as baterias terem um custo elevado, devendo-se assim, evitar atingir um *DoD* elevado por forma a maximizar o tempo útil de vida. A relação entre o número de ciclos e o *DoD* é evidenciada na Figura 2.13:

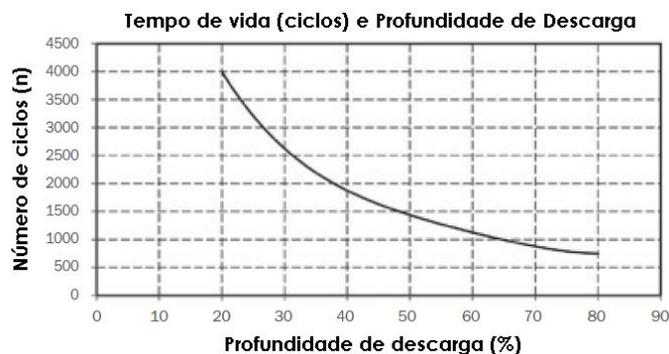


Figura 2.13 – Relação entre a DoD e o número de ciclos para as baterias marca *Hoppecke Solar.bloc*.

É importante referir que considera-se o fim de vida útil de uma bateria quando esta atinge 70-80% da sua capacidade original.

Estado de Carga

Capacidade disponível de carga da bateria é representado pela percentagem da capacidade nominal (é o valor complementar da profundidade de descarga). A título de exemplo, para uma bateria de 200 Ah, se forem retirados 150 Ah, o novo estado de carga será de 25%. O conhecimento do estado de carga das baterias é importante para administrar adequadamente a capacidade disponível e prevenir estados de sobrecarga ou descarga excessivos. A tensão de circuito aberto da bateria é um bom indicador do estado de carga.

Auto descarga

Processo no qual as baterias descarregam de forma gradual e espontânea quando não estão em operação. As baterias de chumbo ácido têm baixa taxa de auto descarga, na ordem dos 5% por mês da sua capacidade, dependendo da temperatura e da composição das células.

Ciclo

Um ciclo completo compreende a descarga da capacidade normal e a subsequente recarga completa. O número de ciclos para descargas parciais pode ser convertido em ciclos completos, multiplicando este número pela profundidade de descarga (ex: 800 ciclos parciais x 30% descarga = 240 ciclos completos). É importante que as baterias tenham especificado o número de ciclos de vida útil.

Resistência Interna

A resistência interna duma bateria é determinante no desempenho e no seu tempo de vida útil. O aumento da resistência interna diminui a fluxo/quantidade de energia que pode ser utilizada para trabalho útil. Assim, uma bateria para arranque tem baixa resistência interna para poder entregar grande quantidade de corrente (Lei de Ohm $V = R \cdot I$)

Associação de baterias

Quanto à associação de baterias (Figura 2.14) as baterias podem ser associadas em série ou em paralelo. O caso da associação em série resulta numa capacidade (Ah) constante, porém a tensão (V) irá aumentar (soma das tensões). Aqui é importante mencionar que todas as baterias associadas em série devem possuir a mesma capacidade (Ah) para deste modo manter a integridade do sistema, i.e., se uma bateria possuir menor capacidade que as outras, esta estará sujeita a maior esforço, diminuindo a vida útil desta, acabando por comprometer todo o sistema de armazenamento. No caso da associação em paralelo, a tensão permanece constante mas a capacidade irá aumentar (soma das capacidades). Neste tipo de associação é importante que todas as baterias do sistema de armazenamento tenham a mesma tensão para deste modo, assegurar a integridade do sistema de armazenamento. (All About Circuits , 2015).

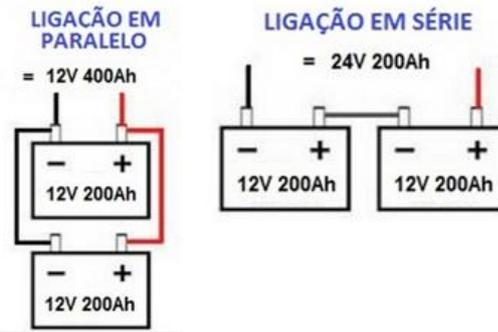


Figura 2.14 – Exemplo de ligação em série/paralelo de baterias

2.3.2 Cálculo da Capacidade (Ah)

Para a determinação da capacidade (Ah) de baterias a utilizar numa aplicação é necessário estabelecer alguns parâmetros: a tensão do sistema; a autonomia desejada; e a profundidade de descarga, bem como conhecer as eficiências dos componentes utilizados no sistema.

Numa primeira fase é calculado o consumo do(s) equipamento(s) em Watt.hora (Wh), segundo a equação (2.4), após o qual é realizada a “conversão” para Ampere-hora através da equação (2.5) pela divisão do consumo (Wh) pela tensão do sistema (V) previamente selecionada.

Conhecendo as eficiências dos componentes, calcula-se o consumo corrido pela equação (2.6). Finalmente calcula-se a capacidade (Ah) que a bateria (ou banco de baterias) terá pela equação (2.7), utilizando os parâmetros previamente estabelecidos (autonomia, profundidade de descarga).

$$\text{Consumo}(W.h) = \text{consumo}_{\text{ins tan t\~{a}neo}} \times N^{\circ} \text{ horas}_{\text{funcionamento}} (h) \quad (2.4)$$

$$\text{Consumo}_{\text{di\~{a}rio}} (Ah) = \frac{\text{consumo}(W.h)}{\text{tens\~{a}o}_{\text{sistema}} (V)} \quad (2.5)$$

$$\text{Consumo}_{\text{corrigido}} = \frac{\text{consumo}_{\text{di\~{a}rio}} (Ah)}{\eta_{\text{bat}} \times \eta_{\text{controlador}} \times \eta_{\text{cabos}} \times \eta_{\text{inversor}}} \quad (2.6)$$

$$\text{Capacidade}_{\text{bateria}} = \frac{\text{consumo}(Ah) \times \text{Autonomia}}{\text{profundidade}_{\text{descarga}}} \quad (2.7)$$

2.3.3 Baterias Chumbo-ácido (*Lead-Acid*)

As baterias de Chumbo-ácido⁸ são as baterias atualmente mais utilizadas sobretudo para sistemas fotovoltaicos, apresentando um ponto de maturação tecnológico avançado. Devido à generalização do uso desta tecnologia, o seu preço é bastante atrativo. Apesar da sua baixa densidade de energia (Wh/kg), estas sofreram grandes avanços tecnológicos, principalmente com a introdução das baterias do tipo AGM e Gel, elevando o seu tempo de vida útil. Apesar de o impacto ambiental de produção ser elevado (considerando desde a extração do chumbo de minas, até à sua aplicação na indústria), estas baterias são quase totalmente recicláveis, possuindo um dos maiores índices de reciclagem (Chagas, 2007).

As baterias LA podem ser divididas (2) tipos:

- a) FVLA (*Free Vented Lead Acid* – baterias de chumbo-ácido ventiladas): representam a forma mais comum das baterias chumbo-ácido, sendo também as mais antigas. Apresentam uma limitação que reside no facto de não serem seladas, i.e., no carregamento libertam gases que são libertados para a atmosfera. Por essa razão é necessário encher a bateria com água, periodicamente, para restituir o nível de eletrólito.

- b) VRLA (*Valve Regulated Lead Acid* – bateria chumbo-ácido regulada por válvula): este tipo de baterias chumbo-ácido é mais recente e tem a característica de serem seladas, possuindo uma válvula de segurança para saída de gases formados em situações excepcionais. Estas baterias permitem a recombinação da maior parte dos gases produzidos durante o funcionamento (hidrogénio e oxigénio), dispensando a adição de água – isentas de manutenção ou muito próximo disso.

⁸ Abreviada “LA”

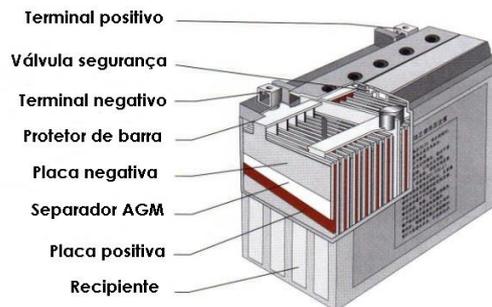


Figura 2.15 – Representação esquemática duma bateria do tipo VRL- AGM (AGM Sealed , 2015).

Comparando as baterias VRLA com as FVLA, apesar de estas serem mais caras, são mais evoluídas, possuindo muitas vantagens, nomeadamente, são isentas de manutenção (ou muito próximo disso), não emitem gases (exceto em casos excecionais) nem precisam de ventilação especial, são mais fáceis de transportar, podendo operar em qualquer posição (AGM) e ainda, possuem uma taxa de auto descarga menor.

Baterias Chumbo-ácido VRLA: GEL e AGM

Dentro da categoria VRLA, interessa mencionar as baterias do tipo GEL e AGM. Nas baterias de GEL, o fluido eletrólito é substituído por uma substância gelatinosa (*pyrogenic silica*). Não necessitando de manutenção, são utilizadas para ciclos de descarga longos e profundos (resistência interna superior), e suportam um elevado número de ciclos (mais que as do tipo AGM). No entanto, quando manuseadas incorretamente (descargas muito profundas ou rápidas) perdem a sua vida útil muito rapidamente. São adequadas para aplicações “mais duradouras” em que a intensidade de corrente não necessita de ser tão elevada (Rusch, Vassalo, & Hart, 2006).

Relativamente as baterias AGM (*Absorption Glass Mat* – fibra de vidro absorvente), além de compactas, são imunes a curto-circuito e muito resistentes a solicitações mecânicas. Podem ser montadas em qualquer posição, possuem uma vida útil média 5-7 anos, não sofrem tanto com altas temperaturas, permitem correntes elevadas, possuem baixa auto descarga e a velocidade de carregamento é bastante mais veloz que para uma bateria Chumbo-ácido comum (FVLA). São ligeiramente menos dispendiosas que as baterias do tipo Gel (BatteryStuff, 2015).

2.3.4 Baterias de Iões de Lítio (*Lithium-Ion*)

As baterias de iões de lítio (*Li-Ion*) tem sido usadas extensivamente na última década em telemóveis, computadores, carros elétricos, motociclos, e só mais recentemente, em sistemas fotovoltaicos *off-grid*. São construídas de modo semelhante às baterias de Chumbo-ácido, com placas positivas e negativas (de carbono ou grafite) banhadas por um eletrólito (sal de lítio e solvente orgânico). Este tipo de baterias tem-se tornado muito popular devido à sua densidade de energia, às reduzidas dimensões, aliada ao seu baixo peso, comparativamente às baterias VRLA (Morris, 2014). Apesar de serem mais dispendiosas, a principal vantagem é o facto da profundidade de descarga (DoD) permitida ser bastante mais elevada (80%), bem como o número de ciclos. Isto significa que as baterias do tipo LA precisam de maior capacidade, cerca 2.5x mais comparativamente às de iões de lítio, o que se traduz em baterias de maiores dimensões (dobro) e peso bastante superior, cerca de 3x mais (Albright, Edie, & Al-Hallaj, 2015) (Victron Energy, 2015).

No anexo I é possível consultar informação acerca dos tipos de baterias de iões de lítio bem como os formatos de baterias utilizados.

2.3.5 Comparação Chumbo-ácido (LA) vs Iões de Lítio (LI)

Como todas as baterias eletroquímicas, as baterias LI têm vantagens e desvantagens. Comparando o formato mais utilizado para sistemas fotovoltaicos (o tipo LFP – ver anexo I) relativamente às baterias do tipo LA (Richmond, 2013):

- Peso: cerca de 1/3 do peso comparativamente às baterias Chumbo-ácido;
- Dimensões: cerca de metade (1/2);
- Capacidade a baixas temperaturas: a -20°C a capacidade das baterias LA decresce cerca de 50%, enquanto que para as LI, a capacidade decresce 8%;
- Tensão em descarga: nas LA, a tensão decresce significativamente à medida que o estado de carga diminui, enquanto nas baterias LI, a tensão permanece razoavelmente constante até ao estado de carga terminal. Nas baterias LI do tipo LFP, a resistência interna é cerca de 1/4 das LA, o que reduz a perda de energia por calor. Resumindo, a eficiência do sistema é melhor;

- Corrente de carga e descarga: as baterias LI podem ser carregadas e descarregadas por correntes mais intensas do que nas LA, sendo a velocidade e eficiência de carregamento bastante superior (carregamento rápido até aos 100% de carga, enquanto que as LA, carregam até aos 80% e os posteriores 20%, requerem um “carregamento lento” a corrente constante);
- Auto descarga: com a bateria carregada e desconectada, as LA perdem entre 5% a 15% da capacidade por mês, enquanto as LI apenas 1% a 3%;
- Tempo de Vida: o tempo de vida (número de ciclos) varia consideravelmente consoante o tipo de aplicação da bateria, especialmente, da profundidade de descarga (DoD) a que está sujeita. As LA VRLA geralmente tem uma vida útil de 5-7 anos, enquanto as LI geralmente tem vida útil superior a 10 anos;

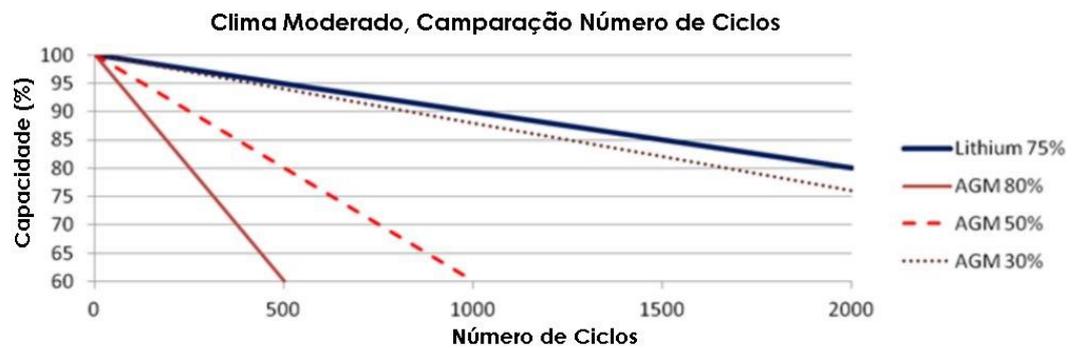


Figura 2.16 – Comparação do tempo de vida (número de ciclos) entre baterias de Lítio e AGM (Albright, Edie, & Al-Hallaj, 2015).

- Manutenção: as baterias LI não necessitam de manutenção para manter os níveis de fluido eletrólito. As LA do tipo VRLA (seladas) também não necessitam de manutenção.
- Custo: devido à generalização do uso das baterias LA, atualmente estas são mais baratas que as baterias LI, no entanto, a generalização da tecnologia das baterias LI tem vindo a baixar o seu preço, expectando-se a descida do seu preço constante nos próximos anos.

A desvantagem das baterias de íões de lítio é a necessidade (recomendado mas não obrigatório) de um sistema de gestão de bateria (BMS), i.e., um sistema que monitorize a tensão e temperatura para cada célula para proteção de carga ou descarga excessiva. O uso deste equipamento é aconselhado pois a tensão das células no interior da bateria pode variar. As baterias de Lítio são bastante sensíveis a sobrecargas. Este controlo é por isso bastante importante para preservar a vida útil destas baterias (íões de lítio).

2.3.6 LCEO – *Levelised Cost of Energy*

O método utilizado para comparação entre baterias de diferentes tipos ou fabricantes denomina-se *Levelised Cost of Energy* (LCOE). Esta forma de comparação considera, não só o custo (€) e a energia debitada (kWh), como também outros fatores muito importantes como o número de ciclos (especificado pelo fabricante), a percentagem de descarga (DoD) e a eficiência de conversão média indicada pelo fabricante (Rodriguez, 2015). O LCOE possui como unidades (€/kWh) e é calculado pela equação:

$$LCOE = \frac{Custo(€)}{E_{kWh} \cdot NC \cdot Ec \cdot DoD} \quad (2.8)$$

Onde,

NC é o número de ciclos (dado fornecido pelo fabricante);

Ec é a eficiência da conversão média (%);

DoD é a Profundidade de descarga (%) considerada no projeto

$E_{kWh} = \text{Capacidade (Ah)} \times \text{Tensão do sistema (V)}$

Como mencionado anteriormente, o tempo de vida de uma bateria é muito dependente da profundidade de descarga (DoD). Para a maioria das baterias, a utilização recorrente de correntes elevadas e descargas profundas diminui rapidamente o número de ciclos.

A figura seguinte (Figura 2.17) ilustra o impacto que o DoD provoca sobre o LCOE, para uma bateria típica de Chumbo-ácido:

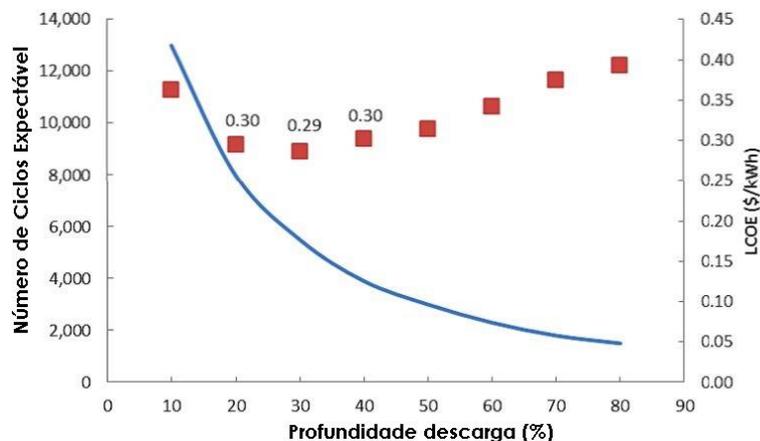


Figura 2.17 – Exemplo para uma bateria Chumbo-ácido do número ciclos de vida previsto, e correspondente LCOE (Rodriguez, 2015).

2.4 Controlador de Carga

Os controladores de cargas (CC) são responsáveis pela gestão do funcionamento de todo o sistema, i.e., devem controlar a tensão/corrente que o painel fotovoltaico transmite, de modo a que este último não sobrecarregue o sistema de armazenamento (baterias), devendo ter em consideração a temperatura, idade e tipo de baterias usadas.

A tensão do módulo fotovoltaico deve ser superior à tensão das baterias para permitir o carregamento destas, de tal forma que V_{max} , para maiores temperaturas, seja suficientemente elevada para carregar as baterias. Para baixos níveis de irradiância (G), a tensão fotovoltaica é inferior à tensão da bateria o que leva à circulação de corrente no sentido oposto (corrente inversa). Os CC devem possuir internamente diodos de bloqueio para garantir que nenhuma corrente contrária circule através do módulo, caso contrário, o módulo funciona como uma carga para o sistema, convertendo energia elétrica em calor. Os diodos de bloqueio são assim necessários para evitar descarga da bateria através do módulo e para proteger este último de sobreaquecimento.

A preservação da vida útil das baterias requer que os CC operem de forma flexível, isto é, devem ser capazes de determinar o estado de carga das baterias para ajustar a tensão máxima de carga e mínima de descarga. Caso estes limites não sejam respeitados, as baterias podem perder a sua vida útil prematuramente. Para monitorizar a temperatura da bateria utiliza-se um sensor que está ligado ao CC.

Diferenças de tensões muito elevadas ($V_{max} \gg V_{bat}$) podem danificar alguns CC, provocando o sobreaquecimento destes devido ao excesso de energia térmica gerada pela conversão (ALTENER; Comissão Europeia, 2004). Este fenómeno aplica-se aos CC do tipo PWM, abordados neste subcapítulo.

Adicionalmente ocorrem perdas nos cabos (normalmente cerca de 1%), bem como no processo de conversão.

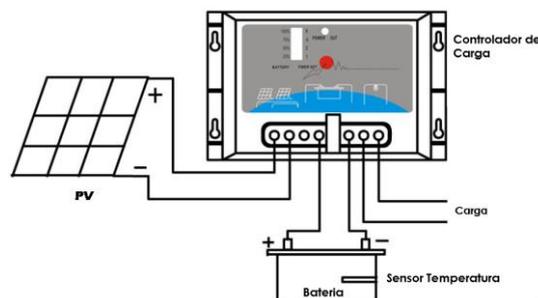


Figura 2.18 – Representação esquemática do controlador de carga.

2.4.1 Técnicas de Gestão Energia (PWM; MPPT)

Para efetuar esta gestão de energia dos sistemas fotovoltaicos normalmente são utilizadas duas (2) técnicas de controlo: PWM e MPPT. Os CC do tipo PWM são essencialmente um *switch* que conecta o painel à bateria, aproximando o valor de tensão para a V_{bat} ⁹. Os CC do tipo MPPT¹⁰ são mais sofisticados mas também mais caros: através de um microprocessador, ajustam a tensão do módulo para o ponto de potência máxima (MPP) para atingir a potência máxima de produção consoante irradiação, após o qual converte essa energia (conversor DC/DC) para a energia requerida pela bateria e as cargas, permitindo assim, conectar módulos mais potentes às baterias. Assim, os controladores MPPT são mais evoluídos que os PWM pois permitem fornecer maior potência às baterias, carregando-as mais rapidamente (Figura 2.19). O uso do PWM justifica-se quando a tensão produzida pelo módulo (V_{max}) se aproxima da tensão das baterias, permitindo que este (PWM) tenha uma performance semelhante ao MPPT para essa condição.

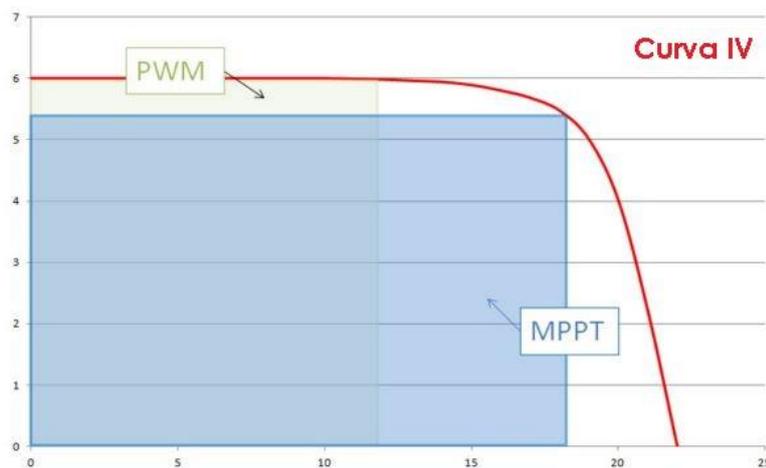


Figura 2.19 – Exemplo da potência retirada pelo método PWM e MPPT (Victron Energy, 2014).

Técnica PWM

Os controladores de carga do tipo PWM (*Pulse Width Modulation*), são essencialmente um *switch* que garante a segurança do processo de carga da bateria, controlando e ajustando a tensão proveniente do módulo para um valor próximo da tensão da bateria, i.e., se um painel fornecer 24V e $V_{bat} = 13V$, o CC irá estabelecer uma tensão cerca de $V_{pwm} = 13.5V$ (0.5V representa um

⁹ Tensão da bateria

¹⁰ *Maximum Power Point Tracking*

valor comum de tensão perdida nos cabos e no processo de conversão) – ilustrado na Figura 2.20. A tensão da bateria aumenta lentamente consoante o estado de carga aumenta. Assim que a bateria atingir a tensão necessária de carga plena, o CC PWM irá desconetar a bateria do painel para prevenir sobrecarga desta. Este método limita a potência produzida pelo módulo, provocando desperdício de energia.

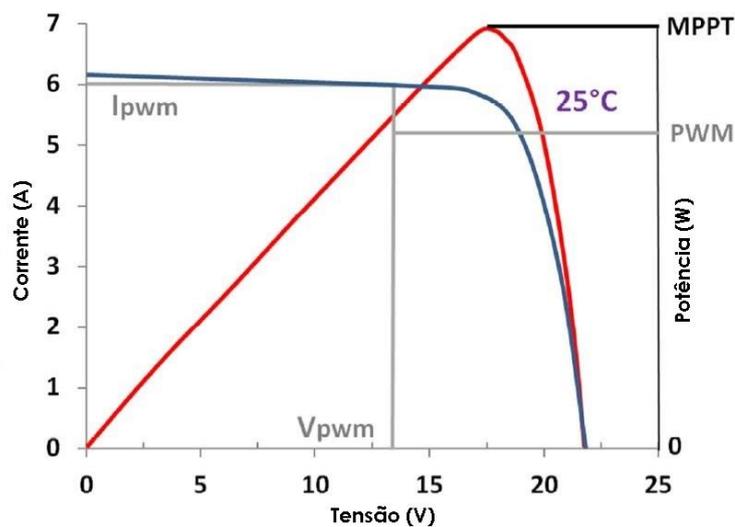


Figura 2.20 – Exemplo da tensão do CC (V_{pwm}) comparativamente ao ponto de potência máxima (Victron, 2014).

MPPT

Os controladores de carga do tipo MPPT possuem um microprocessador que deteta o ponto de potência máxima (MMP) do módulo fotovoltaico consoante as condições ambientais de temperatura e radiação, após o qual a tensão é convertida (conversor DC/DC) para a tensão que a bateria necessita, reduzindo-a (a tensão) mas aumentando a corrente (segundo a lei de Ohm $P=V.I$). Esta forma de controlo mantém a potência que o módulo produz, proporcionando um aumento de energia comparativamente ao método PWM, principalmente para baixas temperaturas, obtendo-se ganhos de energia que podem variar entre 8-40% (Seguel, 2009); (ALTENER; Comissão Europeia, 2004). Estes controladores são especialmente indicados para sistemas em que a diferença de tensão entre as baterias e o módulo é elevada. A literatura da especialidade reporta o valor de 95% como sendo o rendimento típico dos controladores do tipo MPPT.

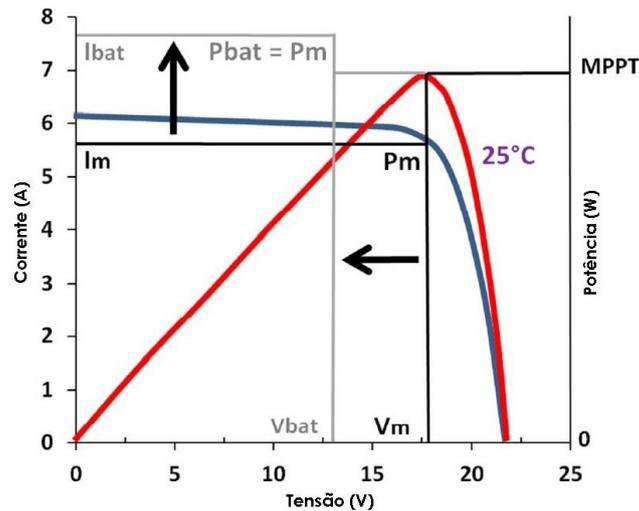


Figura 2.21 – Representação da atuação de um controlador de carga com MPPT (Victron, 2014).

2.5 Sistemas de Refrigeração

A refrigeração é uma das principais aplicações da termodinâmica a qual consiste essencialmente numa transferência de calor de uma região de menor temperatura para uma de maior temperatura (o oposto da 2ª lei da Termodinâmica), naturalmente, à custa de energia.

Os processos de conservação de alimentos foram sofrendo ao longo dos tempos grandes avanços e estão permanentemente em desenvolvimento, principalmente os sistemas de conservação por frio (refrigeração) que de longe são os mais utilizados sobretudo porque não são usados aditivos e proporcionam maior segurança alimentar.

Algumas arcas frigoríficas portáteis de pequenas dimensões já começam a utilizar a refrigeração termoelétrica (efeito Peltier), no entanto é um sistema que ainda possui rendimento muito baixo comparativamente aos sistemas de compressão de vapor. Estes sistemas de compressão de vapor são os mais utilizados pois permitem atingir maiores diferenças de temperatura (maior capacidade de refrigeração) com dimensões de instalação menores, sendo deste modo mais favoráveis em termos de fabrico e aplicação (ASHRAE, 1998).

2.5.1 Sistema de refrigeração por Compressão de Vapor

Como foi anteriormente referido, os sistemas por compressão de vapor são os mais competitivos, na maioria das vezes, sendo utilizados em larga escala. Variam consideravelmente em capacidade e complexidade, dependendo da aplicação. São hermeticamente selados e normalmente não requerem abastecimento de fluido refrigerante ou óleo durante a sua vida útil.

Os componentes do sistema devem permitir uma boa performance global e rentabilidade ao mínimo custo possível. Adicionalmente todos os requisitos de segurança do Parlamento Europeu¹¹ e das normas portuguesas¹², nomeadamente as restrições quanto ao uso fluidos frigorigénios, devem ser cumpridos, substituindo o R12 (este fluido frigorigénio foi excluído devido ao seu impacto sobre a camada de ozono e a potencial para aquecimento global) por outros ecologicamente mais aceites, isto é, fluidos frigorigénios em que o potencial de destruição da camada de ozono (ODP) seja nulo, bem como o potencial de aquecimento global (GWP¹³). As melhores opções encontradas tem sido os fluidos frigorigénios naturais que incluem:

- HCs (hidrocarbonetos), como R600a (isobutano), R290 (propano) e R170 (etano);
- CO₂ (dióxido de carbono) ou R744;
- Amonía (NH₃) ou R717;

Entre estas opções, devido às suas propriedades físicas e químicas, o uso de hidrocarbonetos tem se consolidando por todo o mundo, sendo uma boa solução do ponto de vista técnico. O R600a (isobutano) é indicado para equipamentos domésticos e aplicações comerciais pequenas, e vem substituindo o R134a. Já o R290 (propano) é uma alternativa para aplicação comercial leve, e vem substituindo diversas aplicações com R134a, R404a.

Além da melhoria de eficiência do sistema de refrigeração que o seu uso proporciona, as cargas de R600a e R290 são 40 a 60% menores do que as cargas de R134a e R404a. Ainda existe uma certa resistência ao seu uso, principalmente pela sua inflamabilidade, no entanto as cargas de gás são limitadas a cerca de 150g (Clube da Refrigeração, 2014). Devido à natureza da aplicação é necessário que a escolha do fluido refrigerante tenha em conta alguns aspetos, nomeadamente, as elevadas temperaturas que o veículo está sujeito derivado da sua exposição solar (temperatura de evaporação, compatibilidade com materiais, etc.).

O dimensionamento de frigoríficos e congeladores tem vindo a sofrer uma franca evolução, principalmente devido à substituição dos fluidos frigorigénios e óleos lubrificantes, uso de espumas isolantes com melhor performance, motores e compressores mais pequenos e eficientes, uso universal de válvulas e tubos capilares (elemento expensor) e uma simplificação dos componentes elétricos. Estes melhoramentos colocaram os sistemas de compressão de vapor como um dos

¹¹ Diretiva n.º 93/43/CEE

¹² NP 3293:2008

¹³ ODP – *Ozone Depletion Potential*; GWP – *Global Warming Potential*

melhores sistemas de refrigeração para aplicação em frigoríficos e congeladores de pequena/média capacidade (os vulgarmente usados em casa).

A constituição de uma arca frigorífica com ciclo de compressão por vapor é a seguinte:

1. Evaporador: fornece ao compressor o fluido refrigerante a baixa temperatura e baixa pressão (estado vapor saturado). Aí, a energia elétrica fornecida provoca um deslocamento positivo no pistão do compressor, passando o fluido para um estado de alta temperatura a elevada pressão (vapor sobreaquecido).
2. Condensador: o fluido a alta temperatura e a elevada pressão segue para o condensador onde este rejeita o calor absorvido para o ambiente, passando o fluido a um estado de menor temperatura a elevada pressão (líquido saturado).
3. Elemento Expansor: após a condensação o fluido segue para o elemento expansor (válvulas ou tubos capilares) onde irá expandir, tornando-o numa mistura líquido/vapor, a baixa temperatura e baixa pressão (zona bifásica).
4. Após a expansão o fluido retorna ao evaporador onde irá absorver o calor do ambiente a refrigerar, tornando-o novamente num gás a baixa pressão (vapor saturado) que posteriormente irá de novo para o compressor recomeçando o ciclo.
5. Termostato: as arcas frigoríficas requerem dispositivos (termostatos) que controlem a temperatura do espaço refrigerado (interior) de modo a acionar/parar o sistema (compressor), consoante o intervalo de temperaturas previamente definido.

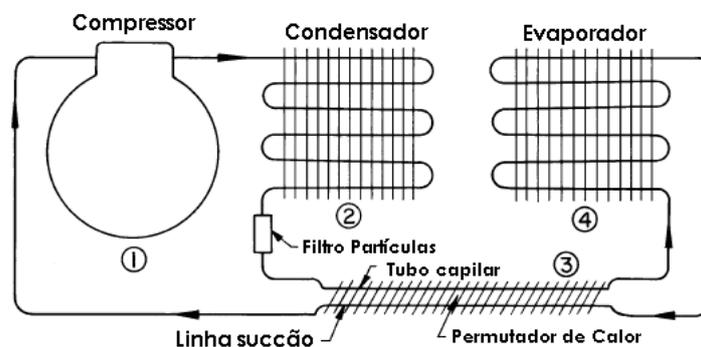


Figura 2.22 – Esquema básico de um ciclo de compressão de vapor (ASHRAE, 1998).

Note-se que a energia entra no sistema pelo evaporador (carga/ganho térmico) e pelo compressor (energia elétrica).

2.5.2 Ganhos térmicos

Ganhos térmicos, também chamados de “cargas térmicas” representam a energia que “entra” no sistema sob a forma de calor (“sinal positivo” segundo a convenção de sinais). Estes podem ser devidos a vários fatores e são divididos em vários tipos, apresentados seguidamente:

- Ganhos por Condução
- Ganhos por Infiltração de Ar
- Ganhos através dos Produtos
- Ganhos dos Equipamentos (dissipação de calor de motores/lâmpadas)
- Ganhos pela Presença de Pessoas
- Ganhos por Radiação
- Outros Ganhos (por exemplo, alguns alimentos libertam calor – calor de respiração)

Assim, o ganho térmico total é dado pela soma das parcelas de ganhos térmicos mencionados acima.

2.5.2.1 Ganhos por Condução

Os ganhos térmicos por condução são derivados do sentido normal do fluxo de calor das temperaturas mais altas para as temperaturas mais baixas (2ª Lei da Termodinâmica), logo, este tipo de ganho é universal em todos os sistemas de refrigeração. O objetivo é reduzir ao mínimo este fluxo natural de calor, aumentando a espessura do isolamento ou aplicando isolamento de maior qualidade (menor condutividade térmica) tendo em conta o custo associado.

Segundo (Lobarinhas, 2015) o cálculo dos ganhos térmicos por condução/transmissão pode ser obtido pela equação (2.9):

$$\dot{Q} = A \times U \times (T_{ext} - T_{refrig}) \quad (2.9)$$

Onde,

\dot{Q} é o ganho térmico por condução [W];

A é área da superfície [m²];

U é coeficiente global de transferência calor [W/m².K];

T_{ext} é temperatura exterior [°C];

T_{refrig} é temperatura do espaço refrigerado [°C].

Em que,

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_{ext}}} \quad (2.10)$$

h_{int} é o coeficiente de convecção na superfície interna [W/m².K];

k é a condutividade térmica do isolamento [W/m.K];

L é a espessura do isolamento [m];

h_{ext} é o coeficiente de convecção na superfície externa [W/m².K].

Para o cálculo do *Coefficiente global de transferência de calor (U)* é necessário conhecer a condutividade térmica do material (k) utilizado como isolamento. Este parâmetro (k) é característico do material e representa a resistência térmica, ou seja, a resistência que o material oferece à passagem de energia térmica. A espessura do isolamento (L) é inversamente proporcional ao coeficiente (U), i.e., quanto maior a quantidade/espessura de isolamento, maior resistência existe ao fluxo de calor (Q).

2.5.2.2 Ganhos por Infiltração de Ar

Os ganhos térmicos por infiltração de ar por norma representam a “maior fatia” dos ganhos térmicos, cerca de 1/4 a 1/3 dos ganhos totais do sistema, dependendo de várias condições tais como as temperaturas e humidades internas e externas, número e tamanho das portas de abertura, o tempo que permanecem abertas (Stoecker, 1998), bem como a disposição das prateleiras no interior da arca frigorífica. Por conseguinte, este assunto será desenvolvido mais aprofundadamente devido à sua expressividade nos ganhos térmicos globais.

Os ganhos por infiltração de ar são derivados da abertura das portas para permitir a entrada ou saída de produtos da câmara frigorífica, na qual, ocorre uma permuta de ar entre o exterior e o interior.

Dependendo da temperatura o ar, este apresenta diferentes densidades o que provoca variações de pressões, induzindo forças de gravidade. Deste modo, o ar a menores temperaturas apresenta maiores densidades e tende a descer, enquanto o ar a maiores temperaturas (menores densidades) tende a ascender (convecção natural).

Devido a esta permuta de ar que ocorre entre o exterior e o interior da câmara frigorífica, existe uma combinação de calor sensível e latente. Isto é devido às diferentes temperaturas e diferentes humidades – o ar exterior é suscetível de ter maior teor de humidade (contém mais vapor de água na sua constituição) e maior temperatura que o ar interior. Deste modo, o ar que entra terá de ser arrefecido até à temperatura do espaço refrigerado (calor sensível) aumentando a carga térmica.

Adicionalmente, se a quantidade de vapor de água do ar exterior foi superior à quantidade de vapor de água que o ar interior consegue absorver, esta água em excesso irá condensar (mudança de estado físico) somando assim uma parcela de calor latente à carga térmica.

Além da diferença de densidades/pressões, a velocidade do vento sob a abertura também desempenha um papel relevante. Quando a velocidade do vento é maior, ocorre uma diferença de pressões que “suga” o ar interior (a menor temperatura) proporcionando a sua saída e a entrada de ar exterior a maior temperatura (Stoecker, 1998).

Vários métodos de estimar esta porção de carga térmica foram desenvolvidos baseados maioritariamente em procedimentos experimentais em modelos de escala e simulações computadorizadas, existindo sempre um erro associado que varia consoante a aplicação específica. A situação mais típica ocorre quando a câmara frigorífica encontra-se selada e a porta é aberta para manipulação de produtos (Figura 2.23). Para esta situação considera-se que a massa de ar que entra é igual à massa de ar que sai (ASHRAE, Refrigeration Load, 2002).

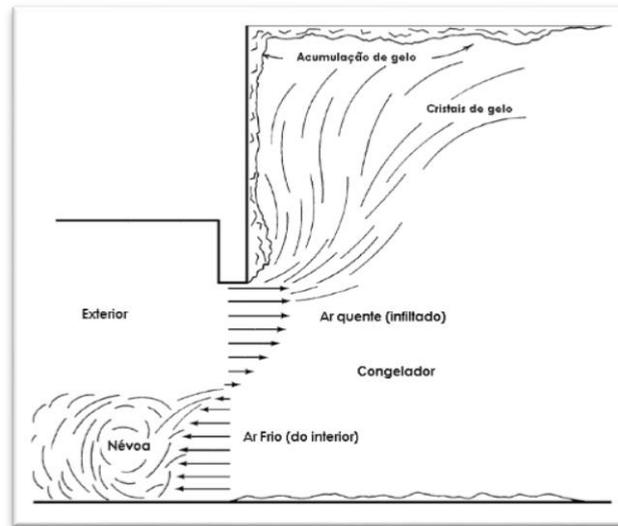


Figura 2.23 - Situação típica de permuta de ar entre o espaço interior e exterior (ASHRAE, Refrigeration Load, 2002).

A infiltração de ar pode ser separada em dois tipos consoante a orientação da abertura:

- Vertical (90°);
- Horizontal (0°).

O fluxo de ar entre um espaço refrigerado com uma abertura vertical tem sido largamente investigado nas últimas décadas, no entanto, no que se refere às permutas de ar no caso de a abertura ser horizontal, pelo facto da complexidade de estudo ser elevada, esta ainda carece de estudos mais intensivos (ver mais à frente).

Infiltração de Ar (Abertura Vertical)

Segundo (ASHRAE, Refrigeration Load, 2002), o ganho térmico médio durante 24h (ou outro período) em kW, pode ser obtido pela seguinte equação 2.11:

$$q_t = \dot{Q} \times D_t \times D_f \times (1 - E) \quad (2.11)$$

Onde,

q_t é ganho térmico médio por 24h ou outro período [kW];

\dot{Q} é ganho (calor sensível e latente) para a refrigeração de um escoamento de ar desenvolvido [kW]

D_t é fator tempo de abertura das portas;

D_f é fator de escoamento de ar;

E é a eficácia do equipamento de proteção (e.g., cortinas de ar).

Para o cálculo do ganho \dot{Q} (calor sensível e latente) é necessário calcular o volume de ar \dot{V} (m^3/s) que é sai/entra na arca frigorífica devido à abertura da porta. Posteriormente calcula-se o caudal de ar \dot{m} (kg/s) e sabendo as entalpias do ar interior e exterior, é possível calcular o calor Q (kW). As fórmulas utilizadas são respetivamente:

$$\dot{V} = C_{inf} A \sqrt{H} \left(\frac{\rho_r - \rho_i}{\rho_r} \right)^{1/2} \times F_m \quad (2.12)$$

$$F_m = \left(\frac{2}{1 + (\rho_r / \rho_i)^{1/3}} \right)^{1.5} \quad (2.13)$$

$$\dot{m} = \dot{V} \left(\frac{\rho_r + \rho_i}{2} \right) \quad (2.14)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}(h_i - h_r) \quad (2.15)$$

Onde,

C_{inf} é o coeficiente típico de infiltração (=0.692)

A é área da abertura [m^2];

H é altura da porta [m];

ρ_r é massa volúmica do ar refrigerado interior [kg/m^3];

ρ_i é massa volúmica do ar infiltrado exterior [kg/m^3];

F_m é fator densidade

h_i é entalpia de entrada do ar [kJ/kg];

h_r é entalpia do interior [kJ/kg];

O fator correspondente ao tempo de abertura da porta (D_t) define-se pela razão de tempo que a porta esteve aberta durante um dia de funcionamento (equação 2.16):

$$D_t = \frac{P \times \theta_p + \theta_o}{3600 \times \theta_d} \quad (2.16)$$

Onde,

P é número de aberturas;

θ_p é duração abertura [s/abertura];

θ_o é tempo efetivo o qual permanece aberta [s];

θ_d é tempo diário de funcionamento [h].

O fator escoamento de ar pela porta (D_t) é a relação de troca de ar real para estabelecer um escoamento de ar pleno. O escoamento pleno acontece apenas quando a porta da câmara frigorífica permanece aberta para uma espaço grande ou o exterior, e não possui qualquer obstrução à saída do ar (como paletes, caixotes,...). Para estes casos o valor de D_t toma o valor 1. Baseado em estudos e testes efetuados por Hendrix (1989) e Downing and Meffert (1993), entre outros, o fator D_t para um funcionamento com aberturas periódicas, com diferenças de temperatura menores que $11\text{ }^{\circ}\text{C}$, é de 1.1, e para maiores diferenças de temperatura é de 0.8 (ASHRAE, Refrigeration Load, 2002).

Abertura Horizontal

Para o caso de abertura da câmara ser horizontal, a complexidade do escoamento de ar e do cálculo do ganho térmico aumenta bastante. Devido às diferentes densidades (ar frio maior densidade, ar quente menor densidade) ocorre uma estratificação do ar dentro da arca frigorífica onde o ar a menor temperatura (mais denso) se concentra na zona inferior. Assim, para arcas refrigeradoras com aberturas horizontais, as trocas de ar entre o interior e o exterior são menores, comparativamente às aberturas verticais.

Existem alguns estudos sobre tema onde são aplicados modelos empíricos, realizando medições experimentais e simulações computadorizadas (CFD), no entanto, consoante as particularidades de cada aplicação estes ganhos térmicos podem variar consideravelmente. Por norma as investigações realizadas neste campo efetuam medições em modelos de escala e modelos empíricos para estudar estes fenómenos de escoamento natural por flutuações (gradientes). Segundo (Li, 2007) estes modelos são demasiado simples para estudar o comportamento altamente transiente e complexo deste tipo de escoamentos em aberturas horizontais, deste modo, é necessário realizar investigações em modelos de escala real. No entanto este método é mais demoroso e dispendioso, assim, as simulações computadorizadas (CFD) são uma alternativa atrativa principalmente devido ao baixo custo de equipamentos e de tempo dos resultados.

Para arcas refrigeradoras com aberturas horizontais, a via comumente utilizada são os testes experimentais. Basicamente coloca-se um compressor numa arca frigorífica e testa-se para verificar se o compressor consegue retirar a carga térmica e refrigerar os produtos nas condições estabelecidas.

2.5.2.3 Ganhos pelos Produtos

A quantidade de calor a remover para reduzir a temperatura de um produto é composta por duas parcelas: calor sensível e calor latente. O calor sensível é a energia necessária para baixar a temperatura do produto (tanto acima como abaixo do ponto de congelação), enquanto que, o calor latente, é a energia necessária para o congelamento.

$$Q_1 = \dot{m} \times c_{p1} \times (T_{inicial} - T_{congelamento}) \quad (2.17)$$

$$Q_2 = \dot{m} \times \Delta h \quad (2.18)$$

$$Q_3 = \dot{m} \times c_{p2} \times (T_{congelamento} - T_{refrig}) \quad (2.19)$$

$$\dot{m} = \frac{m_1 + m_2 + \dots}{3600 \times \Delta t} \quad (2.20)$$

Onde,

\dot{m} é o caudal mássico de produtos [kg/s];

$c_{p1,2}$ é calor específico do produto [kJ/kg.K];

$T_{inicial}$ é a temperatura do produto no momento de entrada [°C];

$T_{congelamento}$ é a temperatura de congelamento, característico para cada produto [°C];

T_{refrig} é a temperatura final [°C];

Δh é a diferença de entalpia inicial e final [kJ/kg];

Capítulo 3. Metodologia do Projeto

A metodologia de projeto constitui todos os procedimentos e técnicas usadas pelos projetistas para a concretização de um projeto. A metodologia utilizada nesta dissertação baseia-se nos conhecimentos adquiridos em (Silva, 2013).

O processo de formalização de um procedimento tende a alargar a abordagem do problema e o âmbito da procura de soluções apropriadas, permitindo alcançar outras soluções que inicialmente não teriam ocorrido. Nesta dissertação deu-se prevalência ao método racional uma vez que instiga a utilização de uma abordagem sistemática e objetiva, abordando os aspetos desde a clarificação do problema, até ao projeto de detalhe. Deste modo a esta abordagem do projeto englobará:

1. Clarificação e estabelecimento dos objetivos do projeto
2. Estabelecimento da estrutura de funções do produto
3. Estabelecimento das especificações do produto
4. Desenvolvimento e criação de soluções
5. Avaliação das soluções
6. Detalhes

3.1 Clarificação do Problema e Estabelecimento de Objetivos

Neste ponto é importante controlar e administrar o processo do projeto através de uma “lista” com a exposição dos objetivos de modo a que seja simples, clara e facilmente entendível, a qual será aprovada quer pelo cliente quer pelo projetista.

O método da árvore de objetivos é atrativo pelo formato útil e facilidade de leitura, em que consoante o nível de importância, cada objetivo ocupa um lugar relativo na árvore de objetivos. Inicialmente importa clarificar o problema e preparar uma lista de objetivos e por fim, construir a representação esquemática da lista de objetivos.

Através do diálogo com a empresa (cliente) e dado à liberdade de soluções concedida por este, elaborou-se a seguinte lista de objetivos (Tabela 3.1):

Tabela 3.1 – Lista de Objetivos

Domínio	Objetivos
Operabilidade	<ul style="list-style-type: none"> ✘ Boa Mobilidade ✘ Monitorização fácil ✘ Baixa Manutenção ✘ Resistência às condições ambientais
Energia/Performance	<ul style="list-style-type: none"> ✘ Painel Fotovoltaico ✘ Autonomia adequada ✘ Eficiência (perdas reduzidas)
Custo/Vida	<ul style="list-style-type: none"> ✘ Custo viável ✘ Tempo de vida útil considerável
Produto	<ul style="list-style-type: none"> ✘ Versatilidade de produtos ✘ Capacidade plausível ✘ Cumprimento da legislação vigente
<i>Design</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✘ Atrativo
Segurança	<ul style="list-style-type: none"> ✘ Ambiental <ul style="list-style-type: none"> ✘ Baterias ✘ Materiais ecológicos/pouco poluentes
	<ul style="list-style-type: none"> ✘ Operação <ul style="list-style-type: none"> ✘ Equipamentos protegidos

Posteriormente apresenta-se a Árvore de Objetivos, representado na Figura 3.1.

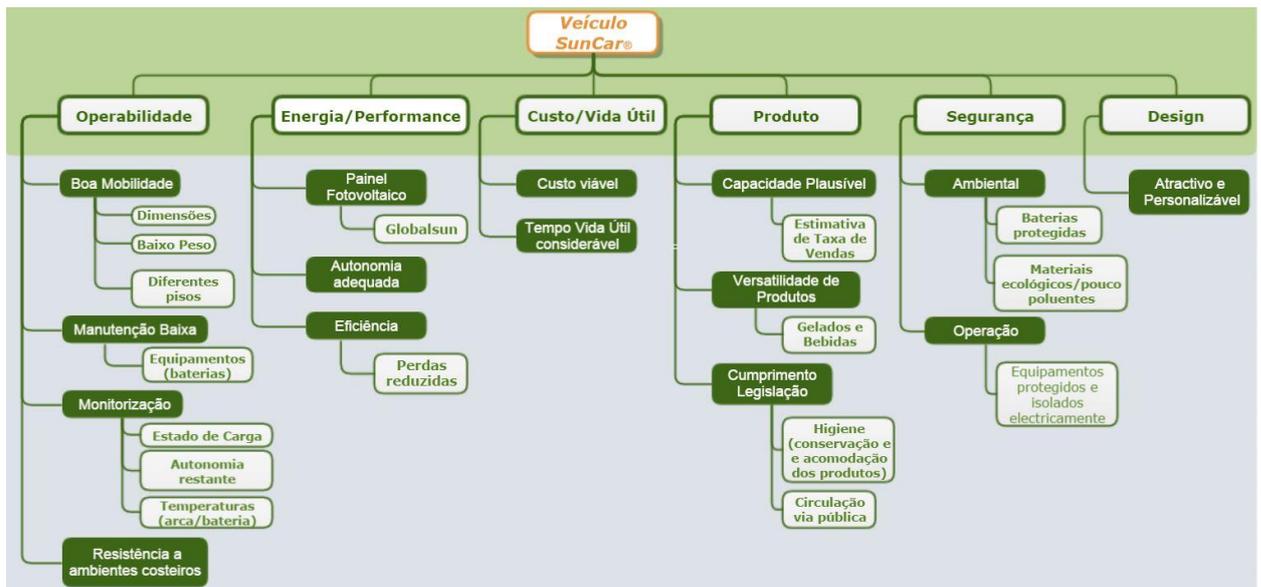


Figura 3.1 – Árvore de Objetivos.

3.2 Estabelecimento da Estrutura de Funções do Veículo

Os problemas podem ter níveis diferentes de generalidade e detalhe. Existem situações em que se torna apropriado questionar o nível de generalidade sobre o qual o problema é colocado pois o cliente pode ter objetivos mais restritos num certo nível de definição do problema do que noutra, além de que, reconsiderar o nível de definição do problema pode ser um estímulo para soluções mais radicais e inovadoras. É portanto útil haver meios de análise do nível do problema, considerando ao mesmo tempo, não o potencial tipo de solução mas as funções essenciais que um tipo de solução deverá, necessariamente, satisfazer.

Sendo assim será utilizado o método de análise de funções que considera as funções essenciais e o nível para o qual o problema deve ser dirigido. Inicialmente expressa a função global em termos de *inputs* e *outputs* (Figura 3.2), o qual depois é subdividida em subfunções essenciais com as respetivas interações entre elas (Figura 3.3). Finalmente pesquisam-se os componentes apropriados que poderão satisfazer as subfunções do problema.

Seguidamente apresentam-se os dois esquemas gráficos relativos à estrutura de funções e subfunções:

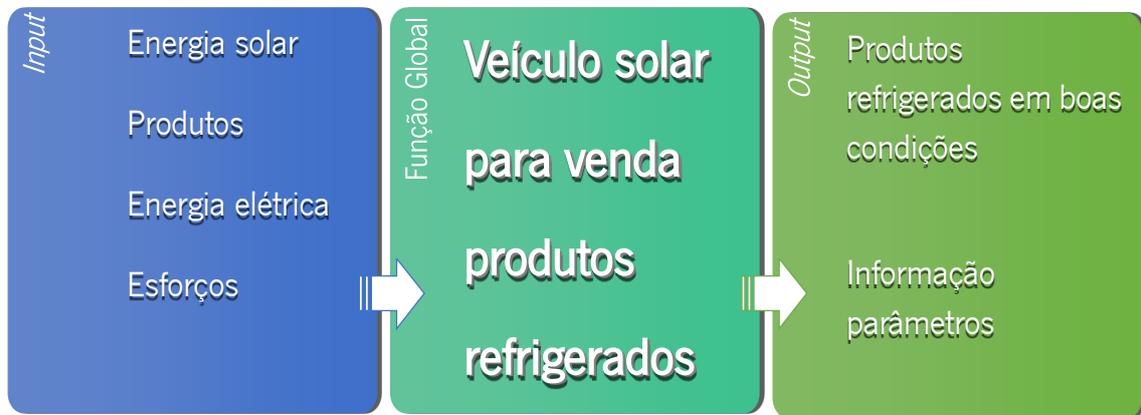


Figura 3.2 – Função Global em termos de *Inputs* e *Outputs*

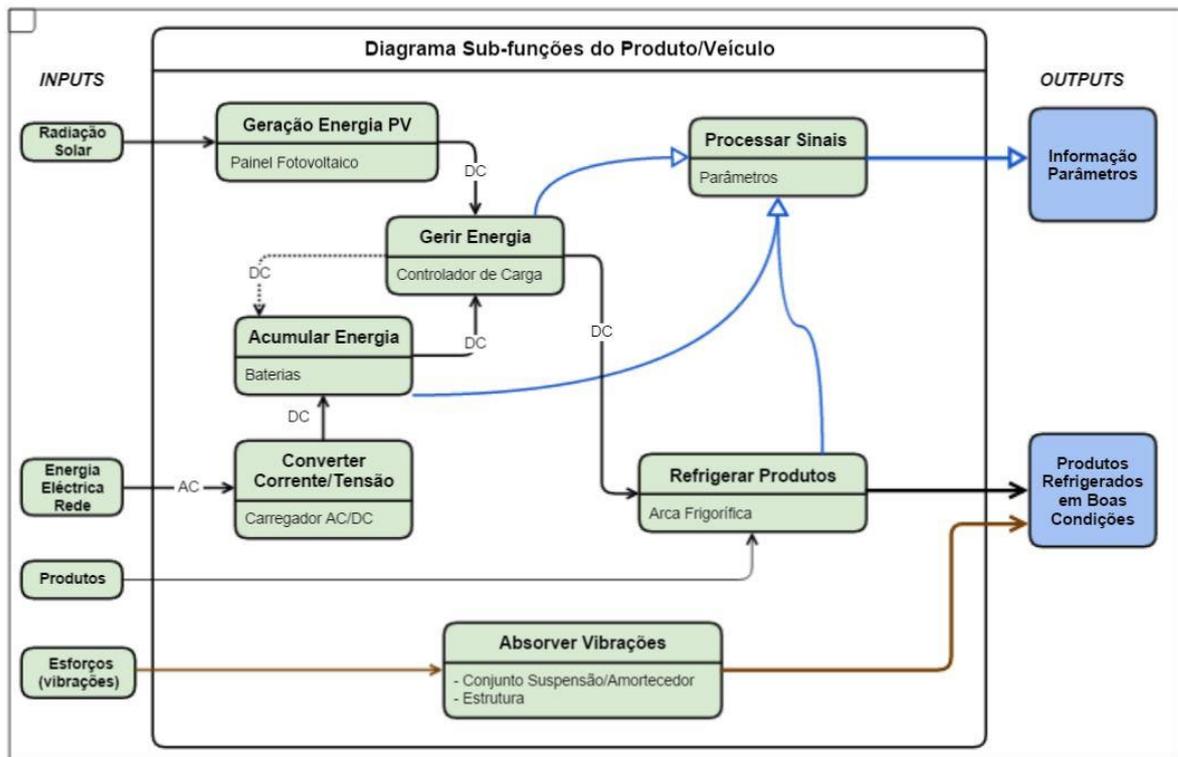


Figura 3.3 – Estrutura das Subfunções do Produto/Veículo

3.3 Estabelecimento das Especificações do Veículo

Os problemas do desenvolvimento de um produto são sempre estabelecidos dentro de certos limites podendo ser de diversos tipos, como por exemplo, o preço que o cliente está disposto a pagar pelo produto, peso e dimensões, os requisitos de desempenho, requisitos legais estatutários ou de segurança, entre outros. Ao estabelecerem-se limites ou requisitos a que deve obedecer o projeto, as especificações de desempenho limitam assim, a gama de soluções aceitáveis. Mais tarde com o decorrer do processo, estas especificações de desempenho serão usadas na avaliação das soluções propostas. O método da especificação de desempenho é usado para auxiliar à definição do problema, deixando espaço ao projetista para alcançar uma solução satisfatória. Os procedimentos base são: a determinação do nível de generalidade sobre o qual atuar (grande, intermédio, baixo); identificação dos atributos de desempenho necessários; e exposição de forma sucinta e precisa, os requisitos de desempenho para cada atributo.

No caso em estudo o nível de generalidade adotado foi o nível intermédio (“tipos e produto”) uma vez que foi desenvolvido um novo produto para substituir outros já existentes, neste caso, para substituir os veículos (de venda ambulante, por exemplo, gelados, bebidas e outros) que funcionam na maioria das vezes com geradores ligados à rede elétrica e que possuem mobilidade condicionada/reduzida (normalmente são atrelados, roulettes ou veículos com transformações especiais). No entanto importa realçar que o nível de generalidade deste projeto apesar “intermédio”, continua a ser elevado, assim, a possibilidade de soluções é extensa.

Foi assim elaborado uma lista de atributos de desempenho que deverá apresentar o novo produto/veículo (Tabela 3.2):

Tabela 3.2 – Estabelecimento dos Atributos de Desempenho

Atributos de Desempenho	<ul style="list-style-type: none"> ✘ Painel Fotovoltaico preferencialmente produzido pela empresa (marca <i>Globalsun</i>) ✘ Baixo Peso ✘ Dimensões: dimensões equivalentes a um mini-reboque ✘ Painel de Instrumentos: fácil leitura dos parâmetros (Ex: Estado de Carga; temperaturas; Autonomia restante, etc.) ✘ Mobilidade: possibilidade de movimento em diversos pisos ✘ Tolerância às vibrações inerentes ao deslocamento (suspensões independentes <i>MacPherson</i> ou <i>Double-A-Arm</i>) ✘ Resistência a ambientes costeiros ✘ Desempenho assegurado em dias de radiação reduzida/nula ✘ Perdas energéticas reduzidas (nos equipamentos do sistema de alimentação) ✘ Baterias preferencialmente afastadas da arca frigorífica ✘ Baterias com manutenção reduzida/nula ✘ Baterias devidamente alocadas ✘ Custo viável <i>VS</i> Tempo de vida útil ✘ Versatilidade de produtos a armazenar (bebidas e gelados) – temperatura da arca frigorífica regulável ✘ Capacidade de produtos – estimativa de taxa de vendas ✘ Cumprimento da legislação vigente (higiene e circulação) – conservação e acomodação correta dos produtos ✘ Materiais de baixa toxicidade ✘ Equipamentos protegidos e devidamente isolados (eletricamente) ✘ Personalização fácil da estrutura (consoante a marca a representar) ✘ Painéis de informação amovíveis
-------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Posteriormente a partir dos Atributos de Desempenho estabelecidos derivam os requisitos de desempenho para cada atributo, apresentados seguidamente na Tabela 3.3:

Tabela 3.3 – Estabelecimento dos Requisitos de Desempenho

Requisitos derivados dos Atributos de Desempenho	<ul style="list-style-type: none"> ✘ Painel Fotovoltaico <i>Globalsun P255GSP</i> (255W; $V_{max}=30V$; $I_{max}=9A$) ✘ Peso máximo conjunto < 300kg ✘ Dimensões máximas veículo (aprox.): 2.1 x 1.3 x 2 metros ✘ Dimensões máximas da arca frigorífica (aprox.): 1 x 1 x 1 metros ✘ Horário de Operação num dia típico: 9 horas (entre 09:00-18:00h) ✘ Autonomia de 24 horas (1 dia) sem ligação à rede elétrica ✘ Temperatura mínima (-18 °C) para arca frigorífica. ✘ Capacidade da arca frigorífica (aprox): 150 Litros ✘ Energia consumida \leq Energia gerada pelo fotovoltaico, durante o dia típico de operação de 9 horas. ✘ Arca frigorífica alimentada 12/24V DC; adequada para aplicações móveis ✘ Baterias para aplicações solares (Chumbo-ácido VRLA; Lítio LiFePO4) ✘ Custo máximo 3000€ ✘ Tempo de vida útil > 10 anos
--------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

A figura 3.4 representa o fluxo de energia do veículo ao longo de um dia de operação. O painel fotovoltaico tem como objetivo fornecer energia (corrente DC) para carregar as baterias e estas por sua vez, alimentarão a carga (arca frigorífica) durante o tempo de exposição solar. Caso as condições de radiação não sejam propícias, as baterias devem ser capazes de alimentar a arca frigorífica durante as 9 horas de funcionamento previamente estabelecido (**Horário de Operação**). Durante o **Horário Não-Operação**, o veículo deve ser ligado à rede elétrica para alimentar a carga e carregar a energia que as baterias eventualmente gastaram durante o dia.

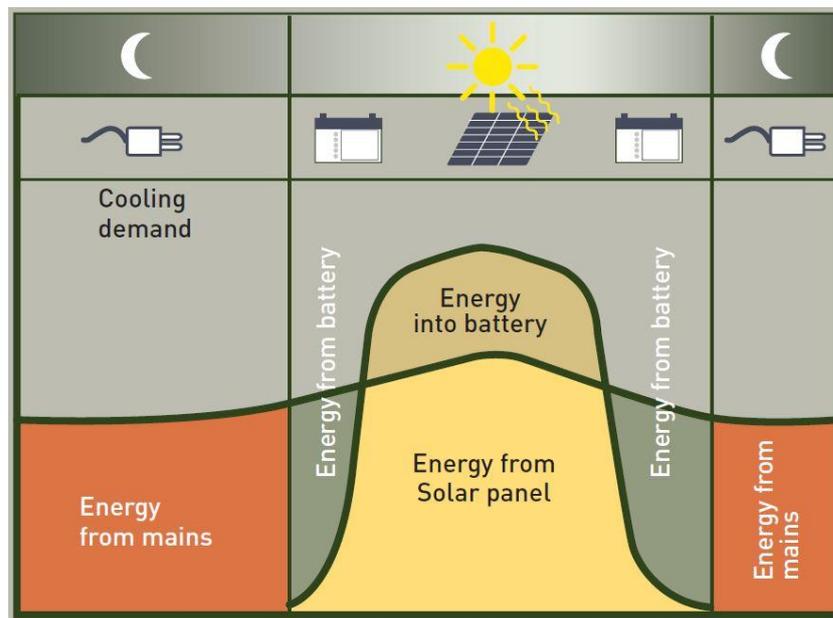


Figura 3.4 – Representação do fluxo de energia do veículo ao longo das 24 horas (SECOP, 2012).

Considerando o que foi referido anteriormente, apresenta-se seguidamente a metodologia adotada no dimensionamento do sistema de alimentação solar (Figura 3.5):

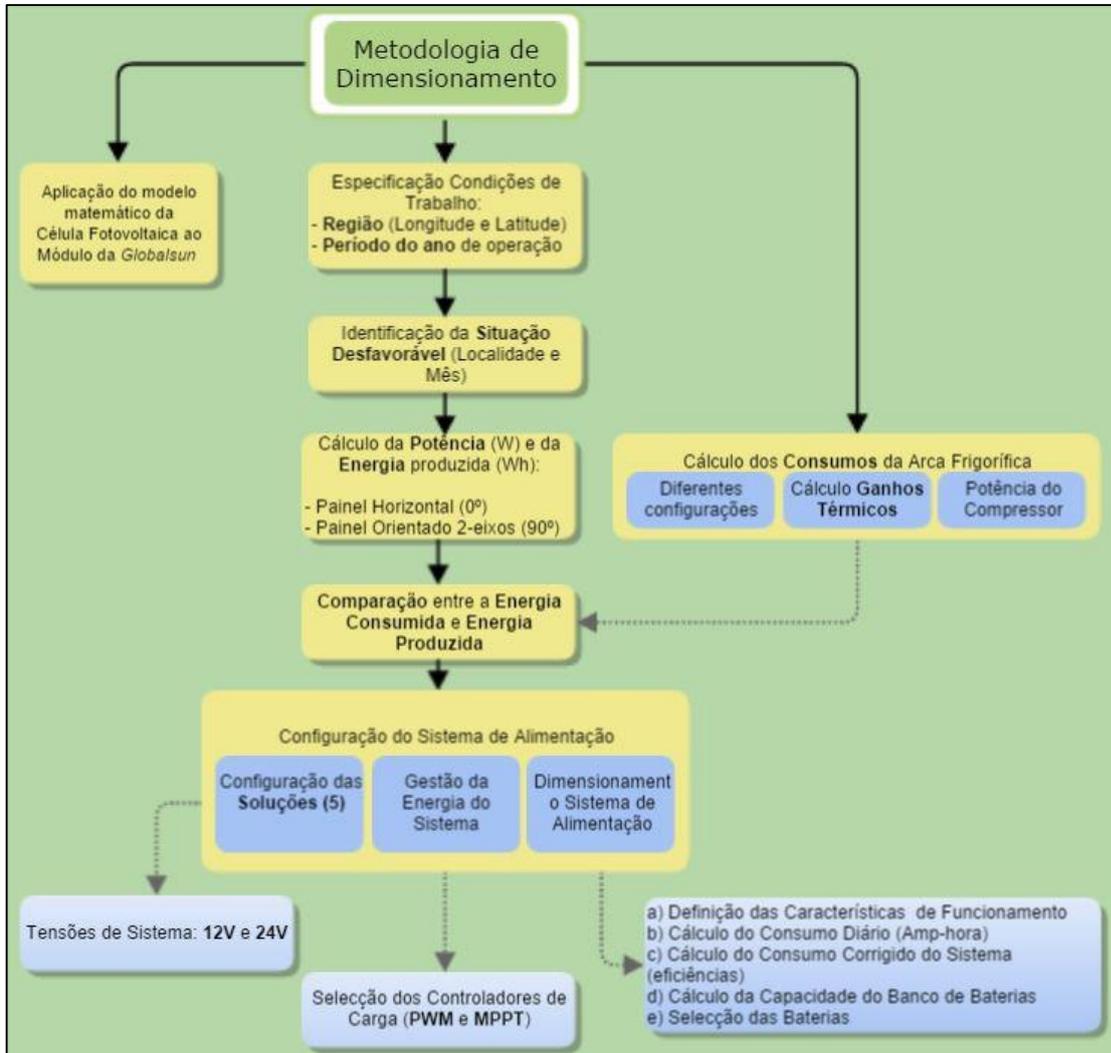


Figura 3.5 – Metodologia de Dimensionamento adotada para o Sistema de Alimentação Solar.

Capítulo 4. Conceção e Desenvolvimento do Sistema de Alimentação do Veículo

4.1 Sistema de Alimentação Solar

Resumidamente a metodologia adotada passa pelos seguintes passos:

1. Aplicação do modelo matemático da célula fotovoltaica

- a) Aplicação ao módulo *Globalsun P255GSP* o modelo da célula fotovoltaica, apresentado no Anexo II.

2. Especificação das condições de trabalho

- a) Escolha da região do globo (latitude e longitude) e período do ano que o equipamento/veículo irá operar (irradiação em kWh/m²/dia).

3. Identificação da situação (localidade e mês) mais desfavorável

- a) Através dos gráficos obtidos, identificar a região com menor incidência de radiação, ou seja, com menor potencial de gerar energia elétrica fotovoltaica.

4. Cálculo da potência (W) e da energia produzida (Wh)

- a) Calcular a potência e energia gerada para um painel fotovoltaico horizontal (0°) e um painel orientado em 2-eixos (*Tracking Plane*)

5. Cálculo dos consumos do equipamento

- a) Configurações geométricas da arca congeladora (espaço interior)
- b) Cálculo dos respetivos ganhos térmicos
- c) Cálculo da potência do compressor necessário (regra 80/20).

6. Comparação entre a Energia Consumida e a Energia Produzida

- a) A energia produzida deverá ser igual ou superior à energia consumida para garantir a viabilidade do projeto (seleção da configuração geométrica)

7. Configuração do Sistema de Alimentação

- a) Estabelecimento das soluções (5)
- b) Escolha do Controlador de carga (MPPT e PWM)
- c) Dimensionamento do sistema de armazenamento (baterias)
 - i. Definição das características de funcionamento (tensão do sistema, autonomia, profundidade de descarga, nº horas funcionamento) bem como das eficiências dos componentes (banco de baterias, controlador de carga, cabos)
 - ii. Cálculo do consumo diário em Amperes-hora (Ah)
 - iii. Cálculo do consumo corrigido (efetivo) do sistema
 - iv. Cálculo da capacidade do Banco de Baterias
 - v. Escolha da(s) bateria(s) a utilizar.

4.1.1 Aplicação do Modelo da Célula Fotovoltaica

Como estabelecido no subcapítulo 3.3, uma especificação do projeto é a utilização de um módulo fotovoltaico preferencialmente da empresa (marca *Globalsun*). A aplicação do modelo matemático simplificado da célula (Anexo II) ao módulo da *Globalsun* permite obter a curva característica deste (corrente-tensão e potência-tensão), em função da radiação incidente e da temperatura do módulo. Esta caracterização é importante para a análise do desempenho elétrico do módulo. Os parâmetros do módulo em estudo são apresentados na Tabela 4.1 (especificações detalhadas em Anexo IV).

Tabela 4.1 - Especificações do módulo fotovoltaico utilizado

Módulo GLOBALSUN P255GSP		
Tipo	60 Células Silício Policristalino 156 mm x 156 mm	
Área útil	A (m ²)	1.46
Potência máxima	P _m (W)	255
Tensão máxima	V _{max} (V)	30.00
Corrente máxima	I _{max} (A)	8.55
Tensão circuito aberto	V _{oc} (V)	38.00
Corrente curto-circuito	I _{sc} (A)	9.00
Eficiência	η (%)	15.5 %
NOCT	(°C)	45 ± 2
Coef, temperatura P _m	(%/°C)	-0.43 ± 0.05

Para as condições de referência indicadas pelo fabricante *Globalsun* e, aplicando o modelo matemático, elaborou-se a curvas características I-V e P-V (Figura 4.1). É possível observar o ponto que maximiza a potência de saída P_{máx} = 258.7 W para uma tensão de cerca de 31V. O fator forma tem um valor de 0.75.

Sendo a potência de ponta declarada pelo fabricante de 255W, o modelo aplicado possui um erro de 1.4%.

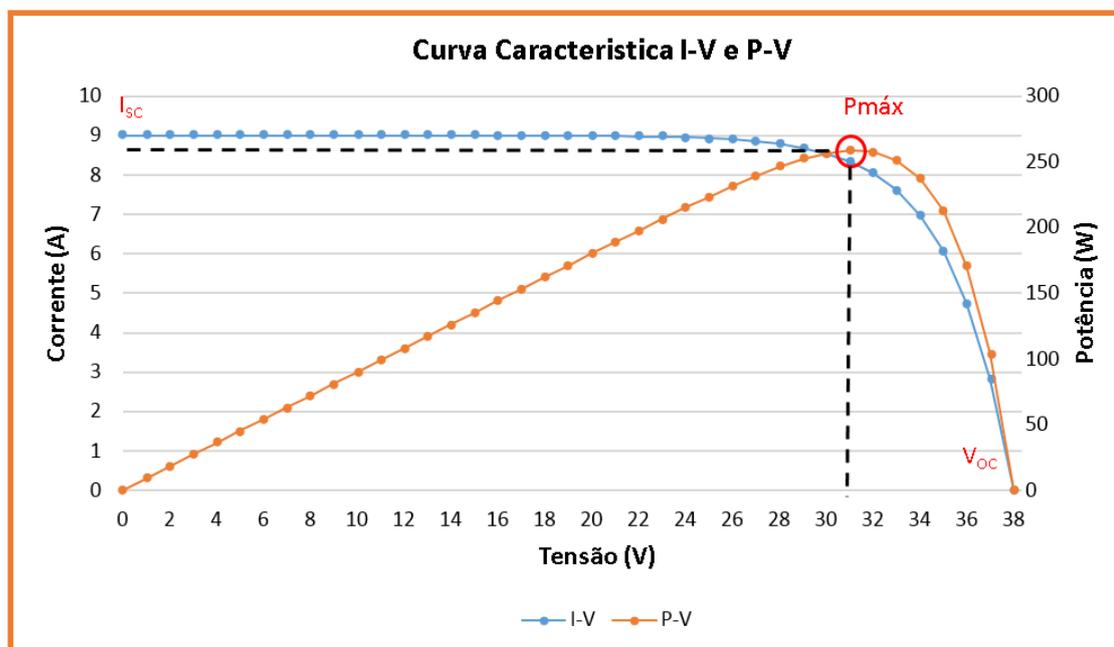


Figura 4.1 - Curva característica I-V e P-V para condições STC.

Os resultados obtidos relativamente à influência da temperatura (-10,25,50 e 70°C) nas curvas I-V e P-V para uma radiação incidente constante de $G=1000 \text{ W/m}^2$ são apresentados na figura 4.2 e na figura 4.3:

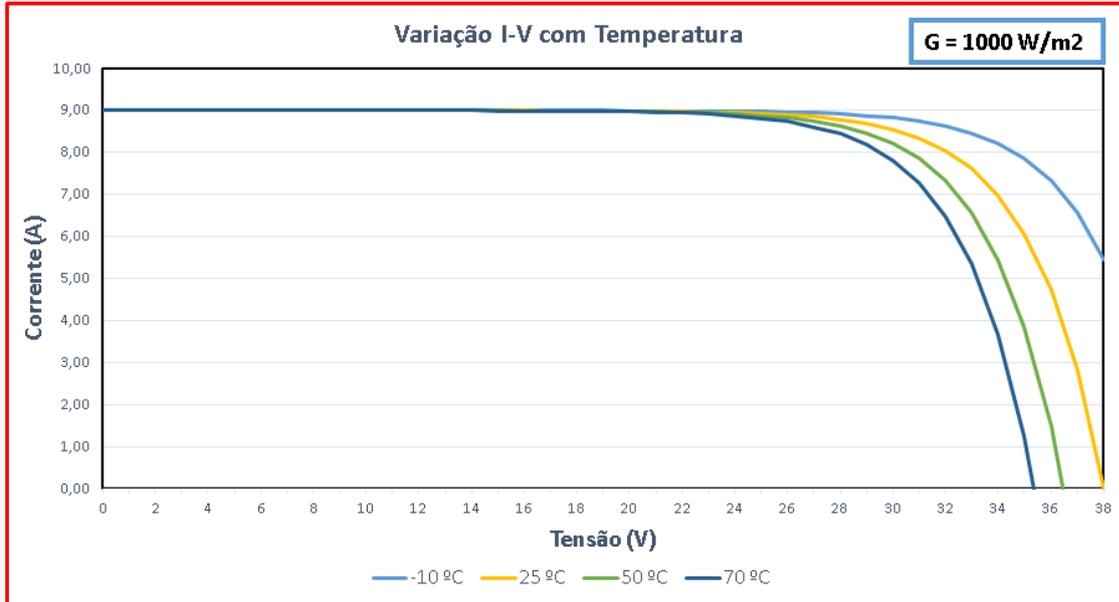


Figura 4.2 - Variação da curva característica I-V para diferentes temperaturas (radiação incidente = 1000 W/m^2).

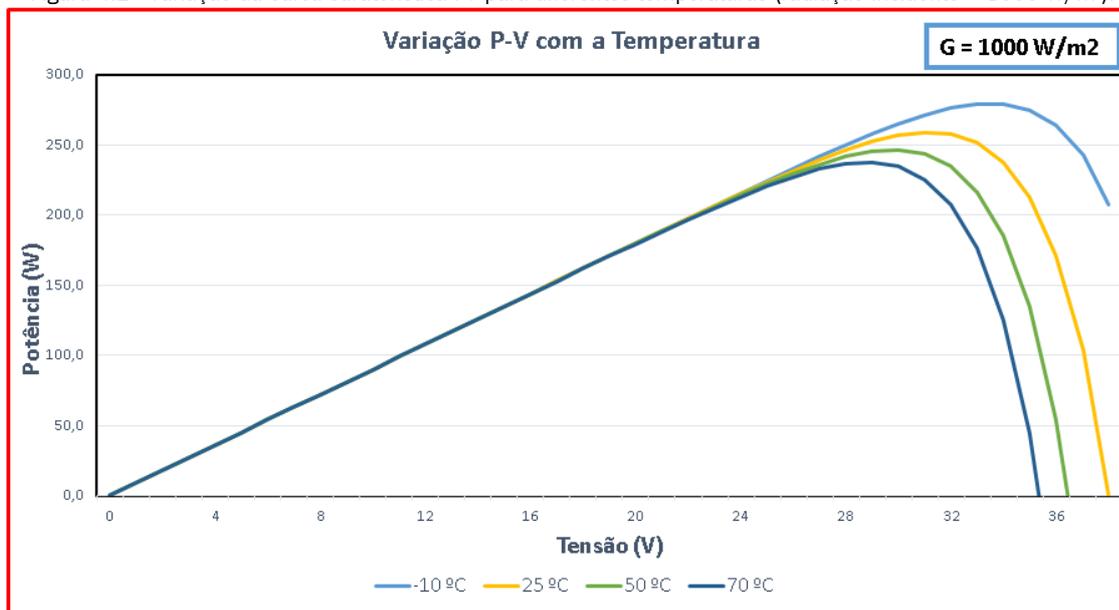


Figura 4.3 - Variação da curva característica P-V para diferentes temperaturas (radiação incidente = 1000 W/m^2).

Os resultados obtidos relativamente à influência da intensidade da radiação incidente (1000, 800, 400 e 200 W/m²) são apresentados nas figuras 4.4 e 4.5:

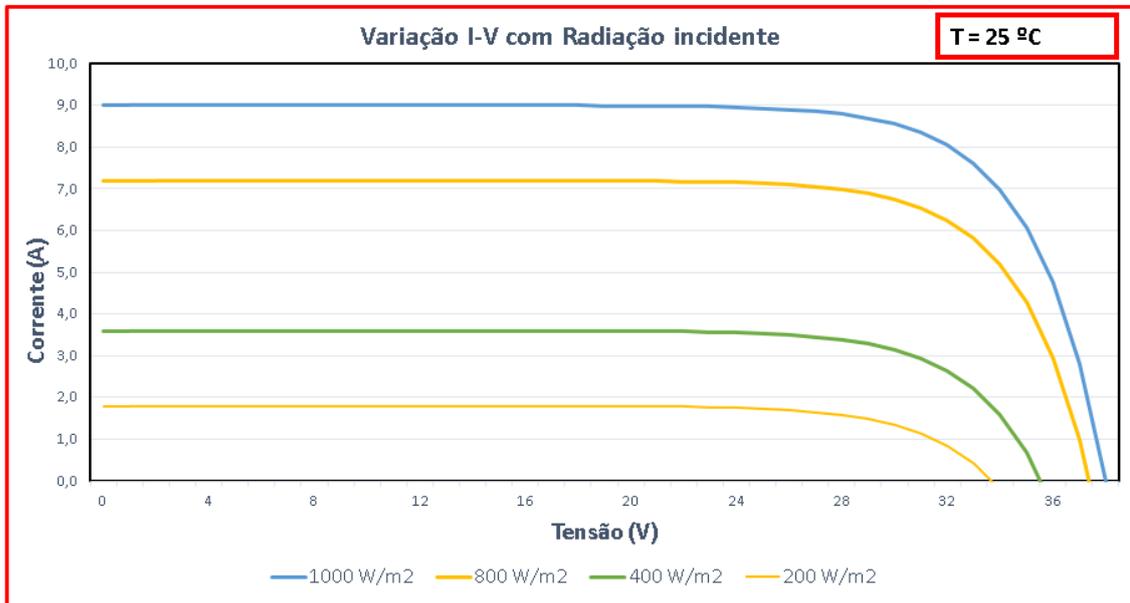


Figura 4.4 - Variação da curva caraterística I-V para diferentes intensidades de radiação incidente (T=25°C).

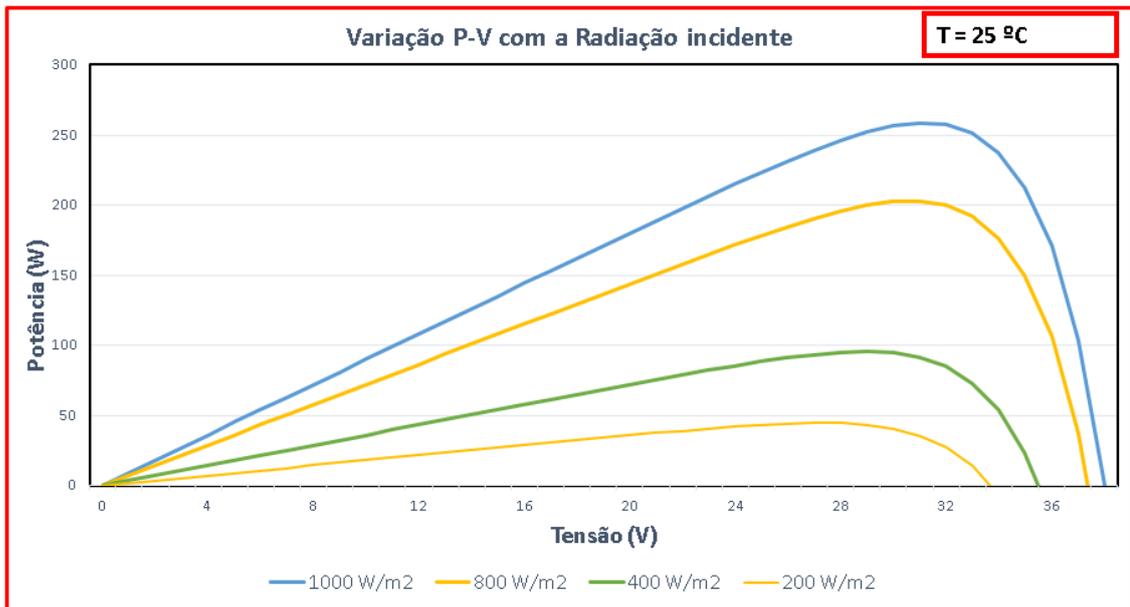


Figura 4.5 - Variação da curva caraterística P-V para diferentes intensidades de radiação incidente (T=25°C).

4.1.2 Especificação das Condições de Trabalho

A radiação solar incidente normalmente é obtida através de medições efetuadas no solo (estações meteorológicas) e/ou através de cálculos baseados em dados obtidos de satélites. Existe uma variedade de programas e aplicações que apresentam mapas com a distribuição da irradiação em função das coordenadas do local desejado. A aplicação *online* PVGIS (*photovoltaic geography information system*) é gratuita, simples de usar e não leva em consideração os equipamentos do sistema. Para além disso apresenta dados fiáveis para os meses e para um dia típico (JRC - IET, 2015). Podem ser apresentados dados relativos a um plano fixo horizontal; um plano horizontal com inclinação ótima (geralmente correspondente à latitude do local); e para um plano com seguidor solar em 2-eixos (*Tracking Plane 2-axis*). Deste modo foi possível obter:

- Irradiância ao longo de um dia típico do mês (plano horizontal e *2-axis*¹⁴), **G** (W/m²)
- Irradiação num plano horizontal por unidade de área, num dia típico do mês, **Hi** (Wh/m²/dia)
- Temperatura média mensal, **T_m** (°C)
- Temperatura ambiente, **T_{amb}** (°C)

Importa sublinhar que devido à natureza da aplicação ser móvel, não faria sentido analisar os dados para um plano fixo horizontal com inclinação ótima. Este veículo será dimensionado para áreas do globo com exposição solar semelhante a Portugal.

Na escolha das localidades teve-se o cuidado de escolher locais em que a afluência de público fosse elevada, nomeadamente turismo, locais prováveis de promover/testar este tipo de veículo.

Seguidamente na Tabela 4.2 apresentam-se os dados geográficos das três localidades selecionadas, para período de meses indicado

- Período do ano: Maio – Setembro

¹⁴ Plano com seguidor solar 2- eixos

Tabela 4.2 - Locais que serão alvo de análise (Porto, Lisboa, Faro)

Localidade	Latitude	Longitude
Porto	41°10'27" N	8°41'29" O
Lisboa	38°41'38" N	9°12'33" O
Faro	37°5' 11" N	8°14'59" O

4.1.3 Identificação da Situação Crítica (localidade e mês)

A Figura 4.6 apresenta a irradiância G ($W/m^2/dia$), ou seja, a variação da radiação global incidente para um dia típico do mês de Julho na cidade de Lisboa.

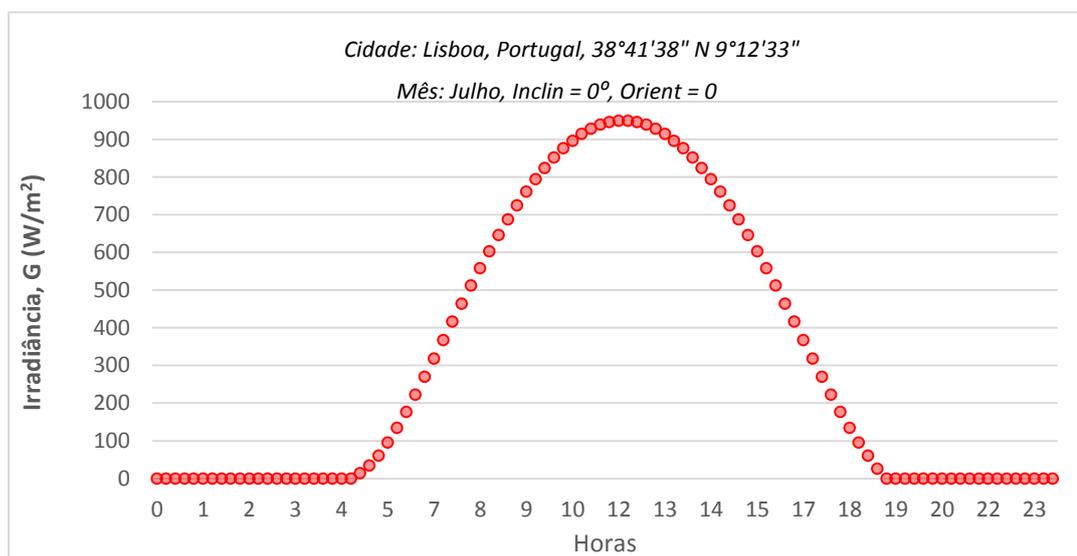


Figura 4.6 - Irradiância G (W/m^2), representa a variação da radiação solar incidente em Lisboa, para um dia típico do mês de Julho. Inclinação: 0° , Orientação: 0° .

A energia da radiação da radiação global H_i ($Wh/m^2/dia$), num plano horizontal para esse dia, é caracterizada pela área abaixo da curva da irradiância. Deste modo repetindo o mesmo processo para cada dia de um determinado mês, é possível calcular a energia da radiação solar média mensal, ou irradiação. A Tabela 4.3 e Figura 4.7 permitem a observação e comparação, respetivamente, da variação da temperatura mensal (T_m) e a irradiação média mensal para um plano horizontal (0°) para os 3 locais em estudo.

Tabela 4.3 – Variação da Temperatura Média Mensal para Porto, Lisboa e Faro. Valores obtidos em (IET, 2015)

Localidade	Variação da Temperatura Média Mensal °C				
	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Porto	18	20.8	22.3	23.1	22.7
Lisboa	19.2	22.4	24.2	24.9	23.4
Faro	18.4	21.1	22.2	23.6	22.2

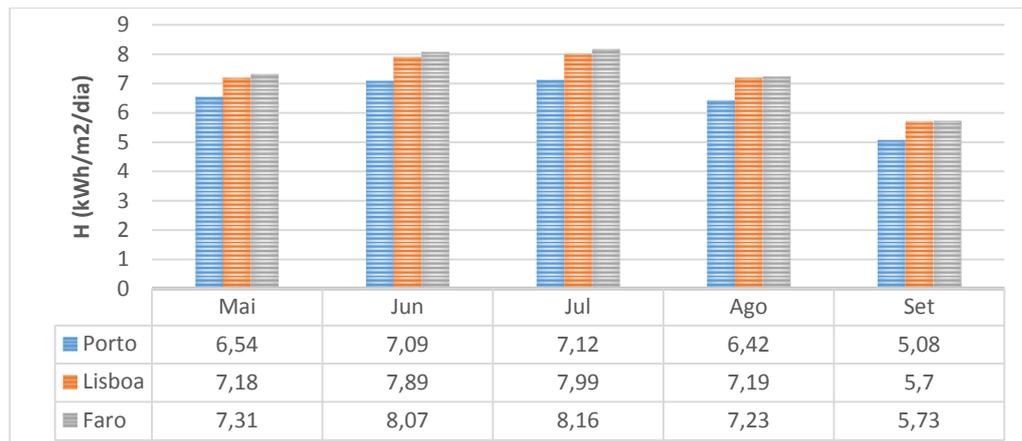


Figura 4.7 - Irradiação média (Wh/m²/dia) em Porto, Lisboa e Faro, ou seja, energia por unidade de área para um dia típico do mês.

Quando à quantidade total de energia solar incidente no painel fotovoltaico (E), apresenta-se a Figura 4.8:

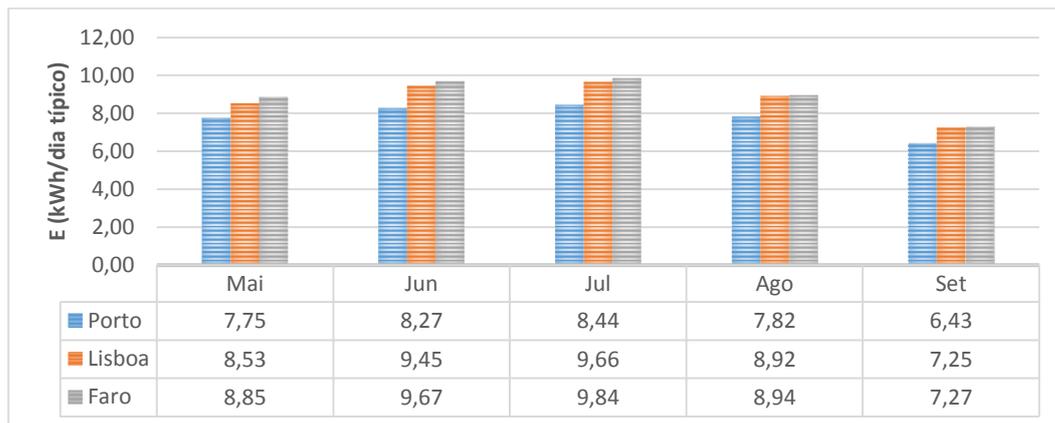


Figura 4.8 – Total de radiação solar incidente no painel fotovoltaico durante as horas de operação.

Pela análise das anteriores, pode-se observar que **Lisboa** é a cidade maior média global de temperatura mensal (T_m), irradiação média mensal (H_i), enquanto que **Porto** apresenta valores médios mais baixos. Daqui pode-se concluir que a cidade do Porto é a que apresenta menor potencial para produção de energia. Deste modo, analisando os meses em estudo (Maio-Setembro) é possível determinar a situação crítica i.e., a situação mais desfavorável para a

produção de energia. Pela análise da irradiação H_i (figura 4.7) constata-se que o período mais desfavorável se situa para a cidade do **Porto** no mês de **Setembro**.

Os dados recolhidos permitiram obter as figuras apresentadas seguidamente onde se pode observar para a situação mais desfavorável (*Porto, Setembro*): a irradiância global (G) para um plano com superfície horizontal (0°) e para plano orientado (*2-axis*) ao longo de um dia típico de operação¹⁵ de Setembro (Figura 4.9); e a variação da temperatura média (T_{amb}) ao longo do dia típico (Figura 4.10). O intervalo de tempo entre as medições foi de 15min e é simples constatar que o plano *2-axis* receberá maior irradiação solar que o plano horizontal ($G_{2-axis} > G_{horizontal}$).

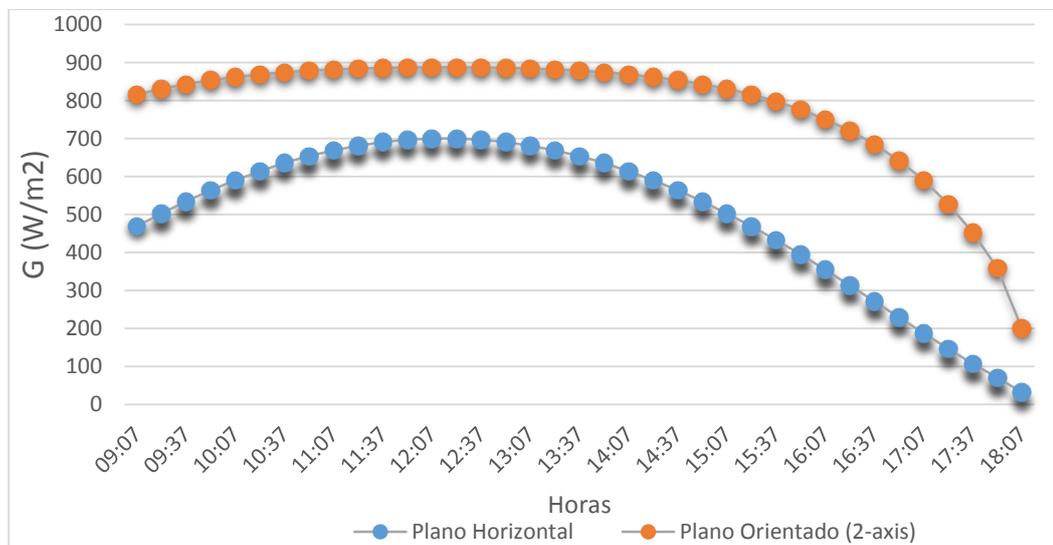


Figura 4.9 - Irradiância recebida na cidade do Porto por um plano horizontal (linha azul) e um plano 2-axis (linha laranja) para um dia típico de operação (9-18 horas) do mês de Setembro.

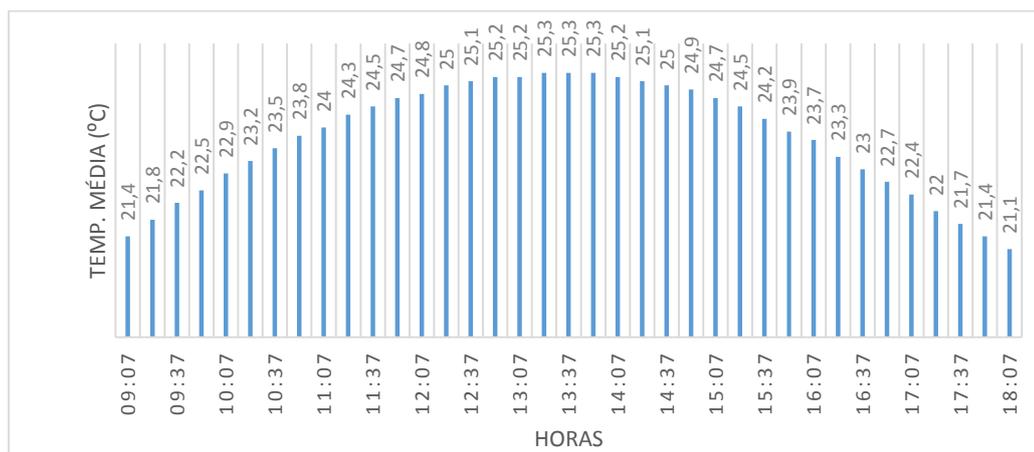


Figura 4.10 - Variação da temperatura média (cidade Porto) ao longo de um dia típico de Setembro.

¹⁵ Dia de operação típico 9:00 até 18:00 horas.

4.1.4 Cálculo da Potência (W) e da Energia Produzida (Wh)

A temperatura ambiente média e a irradiação afetam a temperatura das células solares (equação 2.1) o que, por sua vez, afeta negativamente o desempenho da célula/módulo, como observado em 2.2.5. Pelo facto de a radiação solar incidente (irradiância) ser diferente para os dois planos (isto é, para os módulos fotovoltaicos), a temperatura célula será diferente pois as quantidades de energias não absorvida não serão iguais (dissipada sob a forma de calor). Consequentemente, a eficiência dos módulos irá variar ao longo do dia.

$$T_c = T_{amb} + \frac{G \cdot (NOCT - 20)}{800} \quad (2.1)$$

A eficiência do módulo fotovoltaico, para um nível particular de temperatura, é o resultado da diferença nominal e a amplitude da variação da eficiência (equação 3.1):

$$\eta_c = \eta_{nominal} - \Delta\eta \quad (3.1)$$

Segundo a literatura da especialidade a eficiência corrigida (η_c) das células de silício cristalino decresce com o aumento de temperatura. Por este motivo, as células solares cristalinas atingem melhor eficiência para temperaturas mais baixas (ALTENER; Comissão Europeia, 2004).

Deste modo, cálculo da eficiência corrigida (equação 3.2) depende da eficiência nominal (η_{nom}), da temperatura da célula (T_c) e do coeficiente de variação da eficiência em função da temperatura, este último fornecido pelo fabricante, o qual dependente do tipo de material (para células de silício geralmente toma o valor de 0,45 %/°C).

$$\eta_c = \eta_{nom} \times \left[1 + \Delta\eta_{(\%/^{\circ}C)} \times (T_c - 25) \right] \quad (3.2)$$

Com os dados do módulo fotovoltaico recolhidos e, substituindo nas equações 2.1 e 3.2, é possível obter a Figura 4.11 apresenta, para a situação desfavorável, a variação da temperatura das células ao longo do dia típico de Setembro (Porto), bem como a variação das eficiências para o módulo *Globalsun*.

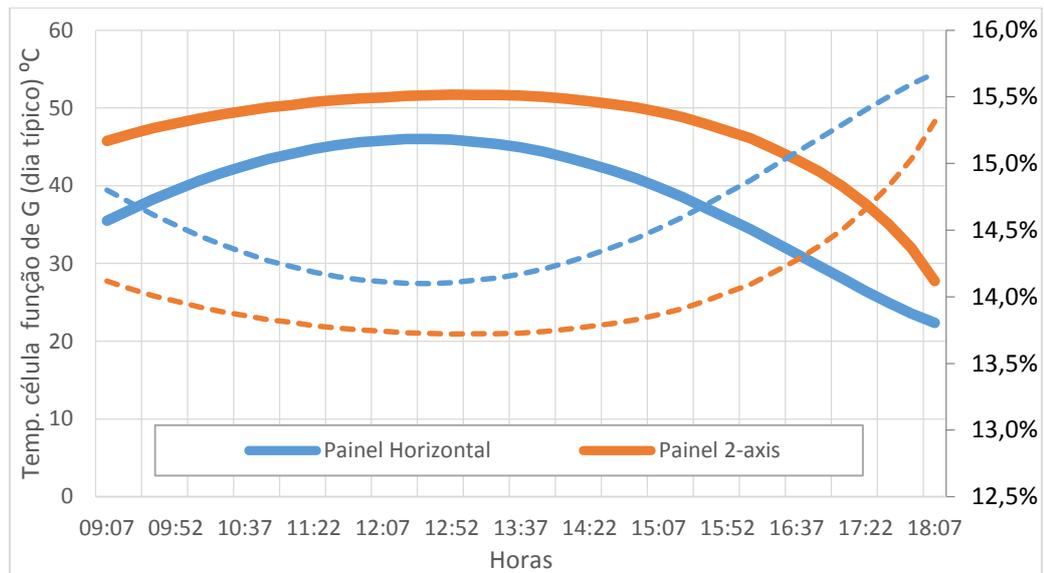


Figura 4.11 - Variação da temperatura/eficiência dos módulos ao longo do dia típico de Setembro (9-18h).

Pelo facto do plano 2-axis possuir uma orientação perpendicular aos raios solares, as células receberão mais energia e conseqüentemente a temperatura será maior, reduzindo a eficiência deste. A partir deste ponto é possível estimar a potência (W) expectável que ambos os módulos (horizontal e 2-axis) irão debitar, assim como a energia (Wh) produzida ao longo de um dia típico do mês.

A Figura 4.12 mostra as curvas de potência de ambos os módulos ao longo do dia de operação (situação mais desfavorável), obtidas através da equação 3.3:

$$P_{prod} = \eta_c \times Area \times G \quad (3.3)$$

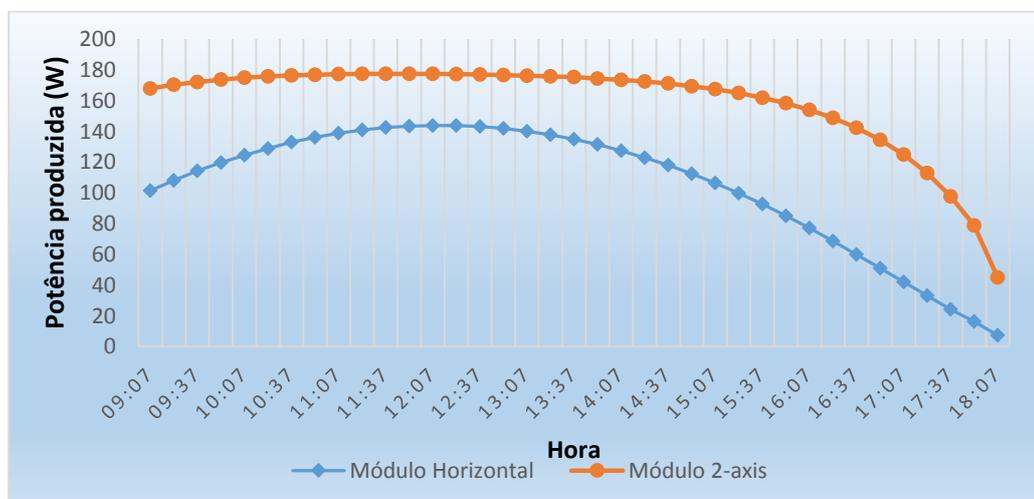


Figura 4.12 - Potência instantânea produzida ao longo de um dia típico, na cidade do Porto para mês de Setembro (9-18h).

No caso da energia produzida esta é aproximadamente igual à área abaixo da curva de potência. Os dados representados apresentam intervalos de 15min (0,25 horas), e a área de cada intervalo é aproximada a um trapézio, deste modo, é aplicada uma simples “regra dos trapézios” par calcular a área (energia) para cada intervalo de 15min (Anexo III).

A Figura 4.13 (próxima página) permite observar e comparar a energia média produzida ($E_{dia\ típico}$) nos meses de estudo, por ambos os módulos, para o período horário compreendido entre as 9:00 e as 18:00 horas.

Sem surpresa a cidade do Porto é a que apresenta menores valores de produção de energia enquanto, do lado oposto, Lisboa, apresenta-se como a localidade com maior potencial. Este facto deve-se sobretudo pelo facto de a quantidade de radiação solar aumentar com a proximidade ao equador, ou seja, a cidade do Porto estando a maior latitude (mais distante do Equador) receberá menor quantidade de radiação solar que Faro (menor latitude) que recebe maior quantidade de radiação solar incidente (irradiância).

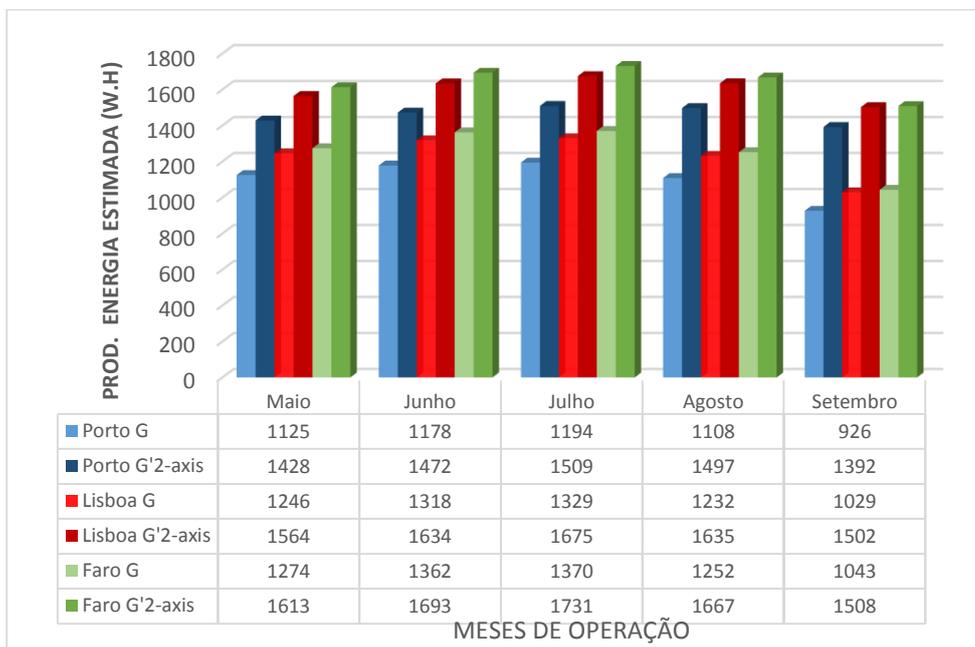


Figura 4.13 - Estimativa da energia produzida por ambos os módulos (horizontal;2-axis) para os meses em estudo, durante o dia típico (9-18h).

A maior produção de energia acontece para o mês de Julho (7º mês). Neste mês as cidades Porto, Lisboa e Faro apresentam, respetivamente, **1194**, **1329** e **1370** Wh de produção de energia estimada. As menores produções de energia ocorrem no mês de Setembro pois sendo o nono mês, está mais “distante” do solstício de Verão (menor quantidade de radiação diária).

Para as cidades de Porto, Lisboa e Faro as produções estimadas de energia serão, respetivamente, **926, 1029 e 1043 Wh**.

A Figura 4.14 apresenta a energia total estimada produzida acumulada ao longo dos cinco meses de operação para as nove horas de funcionamento:

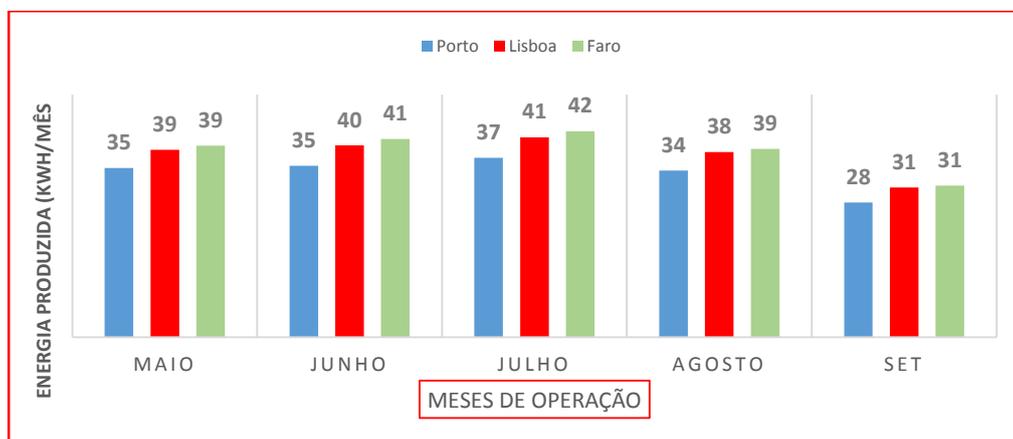


Figura 4.14 – Energia Produzida Mensal Acumulada pelo módulo fotovoltaico Horizontal (kWh).

E qual seria o incremento de energia na aplicação de um módulo com sistema de orientação 2-eixos?

Como abordado anteriormente, o módulo 2-axis produz maior quantidade de energia que o módulo horizontal. Assim, é também interessante comparar a relação entre a energia produzida no módulo horizontal e no módulo 2-axis para as várias cidades (Figura 4.15).

Pela comparação da figura anterior, pode-se notar que a partir de Junho (solstício de Verão), à medida que os meses avançam, a proporção de energia produzida no módulo 2-axis será gradualmente maior comparativamente ao módulo horizontal, isto porque os raios solares aumentam o ângulo de incidência com o avançar dos meses, traduzindo-se em menor energia produzida no plano horizontal. Sendo o sistema 2-axis capaz de seguir o movimento do sol e, deste modo manter os raios solares perpendiculares à superfície do módulo, a produção de energia estimada será naturalmente maior.



Figura 4.15 - Incremento de energia produzida pelo módulo 2-axis (%) comparativamente ao módulo horizontal.

Assim, para o mês de Setembro, a utilização de um sistema seguidor solar de 2-eixos em relação ao módulo horizontal trará significativamente maior produção de energia (dia típico), na ordem dos 50%.

Na Figura 4.16 pode-se observar o incremento médio, para as 3 localidades, dos ganhos de energia (%) pela utilização de um módulo com seguidor solar de 2 eixos (*Tracking Plane*).

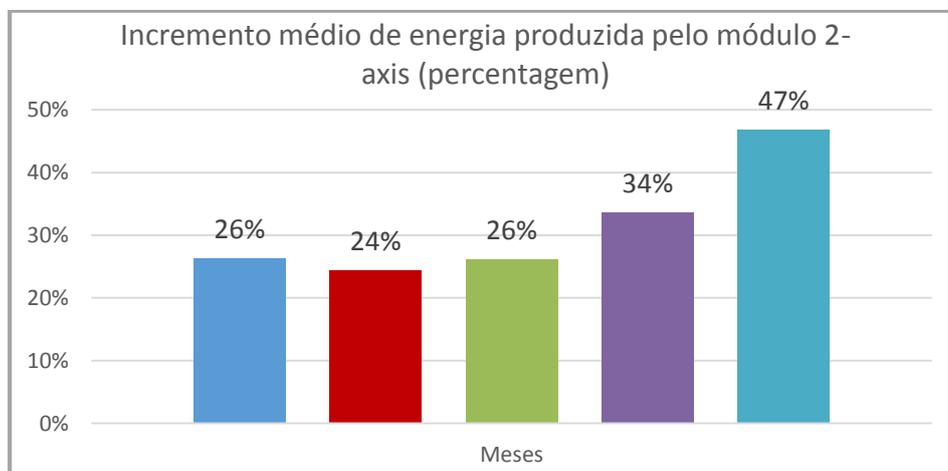


Figura 4.16 – Incremento médio de ganho de energia (percentagem) pelo módulo 2-axis.

Estes sistemas normalmente requerem a utilização de motores e como tal, consomem energia para se mover por forma a seguir o Sol. No entanto, atualmente existem cada vez mais projetos realizados para diminuir o consumo e otimizar estes seguidores a preços mais competitivos.

Assim é possível inferir que a introdução de um seguidor solar será uma mais-valia energética para o veículo.

4.1.5 Cálculo dos Consumos do Equipamento

O cálculo dos ganhos térmicos que a arca frigorífica estará sujeita reflete a energia que será consumida pelo equipamento para refrigerar os produtos para venda.

De modo a cumprir os objetivos propostos, a arca congeladora deve cumprir algumas características sendo elas:

- O volume de gelados que armazena deve ser o suficiente para permitir uma autonomia considerável de venda (aprox. 125L);
- Alimentação 12/24V; corrente contínua (DC);
- Capacidade de refrigeração até aos -18°C , a uma temperatura ambiente máxima de 35°C ;
- Fluido frigorígeno ecologicamente aceite, de preferência com *ODP* nulo e *GWP* baixo (por exemplo os fluidos frigorígenos naturais);
- Dimensões exteriores da arca frigorífica compatíveis com as dimensões do veículo (aprox. 1x1x1m);
- LCD/visor para monitorização da temperatura e termostato para deteção da temperatura interior;
- Resistência estrutural a vibrações (ex, poliuretano);
- Compressor adequado para aplicações móveis (sugere-se um compressor similar aos da SECOP (SECOP, 2012).

Inicialmente é necessário definir as condições de operação e estabelecer alguns parâmetros, abordados em 2.5.2, que irão variar para os dois períodos considerados: o **Horário de Operação** (9-18h) e o **Horário de Não-Operação** (18-9h) (apresentados na Tabela 4.4). Apenas serão considerados os ganhos térmicos por condução, infiltração de ar e pela introdução de produtos.

Tabela 4.4 – Parâmetros estabelecidos para o Horário de Operação e Horário Não-Operação

Horário de Operação (9-18h)	Horário Não-Operação (18-9h)
⌘ Temperatura mínima da arca: -18°C	⌘ Temperatura mínima da arca: -18°C
⌘ Temperatura máxima ambiente 1: 35°C	⌘ Temperatura máxima ambiente 2: 18°C
⌘ P = 25 aberturas/hora	⌘ P = 2 aberturas/15 horas
⌘ θ_p = 3 seg/abertura;	⌘ θ_p = 3 seg/abertura;
⌘ θ_o = 10seg;	⌘ θ_o = 90seg;
⌘ θ_d = 9 horas;	⌘ θ_d = 15 horas;
⌘ Ganhos pelos Produtos: não possui	⌘ Ganhos pelos Produtos: os produtos entram no compartimento a -12°C

Para o horário de operação a arca frigorífica será aberta 25 vezes durante uma hora, durante 10 segundos, com um tempo de abertura/fecho de 3 seg (diferença de temperatura 53°C).

É necessário ponderar acerca de sete (7) aspetos importantes: a configuração que do espaço interior para determinar a capacidade de produtos (neste caso consideram-se gelados); a área de abertura que a arca frigorífica terá para poder estimar os ganhos térmicos por infiltração de ar que irão ocorrer; estimar a taxa de venda de gelados e o número de aberturas por hora, i.e., o número de vezes que a arca será aberta (de modo a calcular as perdas de energia e chegar a um volume de arca que permita uma autonomia considerável de venda de produtos); a espessura da parede do congelador; e a temperatura de entrada dos produtos.

Neste ponto é interessante notar que a maior produtora de gelados do nosso País é a empresa “Olá” do Grupo “Unilever – Jerónimo Martins”, fornecedor dos gelados mais vendidos no mercado português. Segundo a gestora da marca (Marta Quelhas), os gelados *Cornetto* são de longe os mais vendidos com cerca de 10 milhões de unidades consumidas por ano, seguido pelos gelados *Magnum* (Diário de Notícias, 2009).

As dimensões e capacidade de cada embalagem são apresentadas seguidamente na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Dimensões e capacidades das embalagens Cornetto e Magnum

Tipo caixa	Comprimento (dm)	Largura (dm)	Altura (dm)	Volume (dm³)	Nº gelados/caixa	Volume gelado (L)	Massa gelado (g)
<i>Cornetto</i>	2,4	1,7	3,3	13,46	40	0,12	75
<i>Magnum</i>	1,6	1,3	2,9	6,03	20	0,1	85

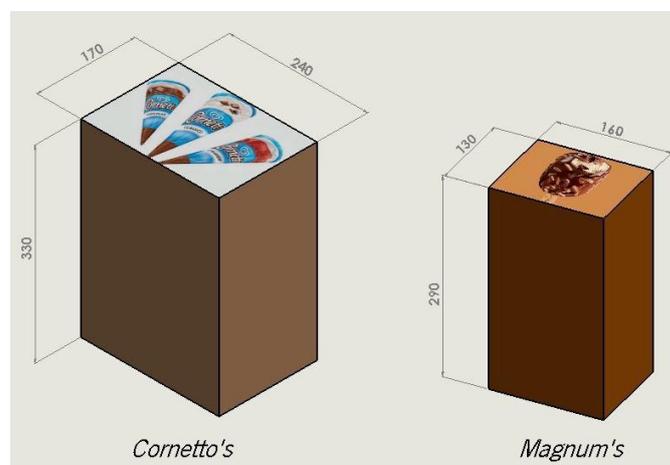


Figura 4.17 – Dimensões (mm) das respetivas embalagens *Cornetto's* e *Magnum's*.

Deste modo idealizara-se oito (8) configurações para o compartimento interior, as quais apresentam diferentes capacidades (Tabela 4.6), e diferentes áreas de abertura (Tabela 4.7), de modo a que haja uma “otimização” do espaço para colocar embalagens (recipientes de cartão) dos gelados mais vendidos no mercado (*Cornetto; Magnum*). Paralelamente é necessário ter em consideração o facto de a área de abertura contribuir bastante para a parcela dos ganhos por infiltração de ar, como abordado em 2.5.2 .

Tabela 4.6 – Configuração interior de cada compartimento e respetiva capacidade

Config.	Nº caixas <i>Cornetto</i>	Nº caixas <i>Magnum</i>	Nº total Gelados	Dimensões interiores (m)			Volume interior (l)	Volume efetivo gelados (l)
				Comp	Larg.	Altura		
1	4	4	240	0,77	0,36	0,35	97,0	27,2
2	4	6	280	0,50	0,32	0,68	108,8	31,2
3	4	8	320	0,52	0,35	0,68	123,8	35,2
4	8	6	440	0,50	0,49	0,68	166,6	50,4
5	4	12	400	0,50	0,45	0,68	153,0	43,2
6.1	4	10	360	0,52	0,41	0,68	145,0	39,2
6.2	6	6	360	0,53	0,39	0,68	140,6	40,8
7	8	12	560	0,66	0,49	0,68	219,9	62,4

Tabela 4.7 - Dimensões totais (com isolamento) e respetivas áreas de abertura para as configurações analisadas

Configuração	Dimensões interiores + Espessura do isolamento (mm)			Área da Abertura Horizontal (m²)
	Comprimento	Largura	Altura	
1	970	560	530	0.139
2	700	520	860	0.080
3	720	550	860	0.091
4	700	690	860	0.123
5	700	650	860	0.113
6 (1)	720	610	860	0.107
6 (2)	730	590	860	0.103
7	860	690	860	0.162

Nota: a espessura do isolamento adotada é de **100 mm** para os lados (2, 3, 4, 5, 6) e **80 mm** para a abertura (1), como mostra na Figura 4.19. O material utilizado são placas de espuma de poliuretano rígido.

Na Figura 4.18, apresentam-se as configurações elaboradas para facilidade de comparação visual:

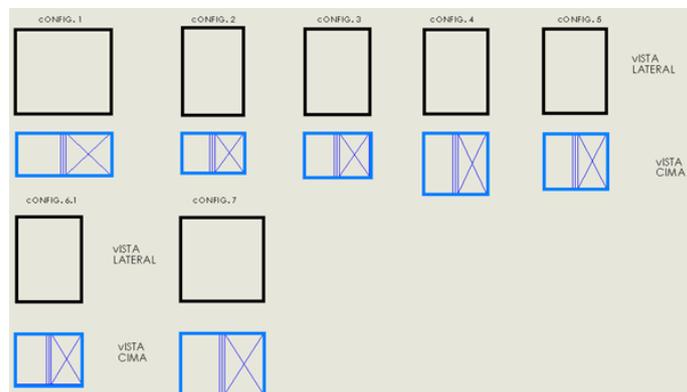


Figura 4.18 – Configurações das arca frigoríficas (2D), vista de cima e lateral.

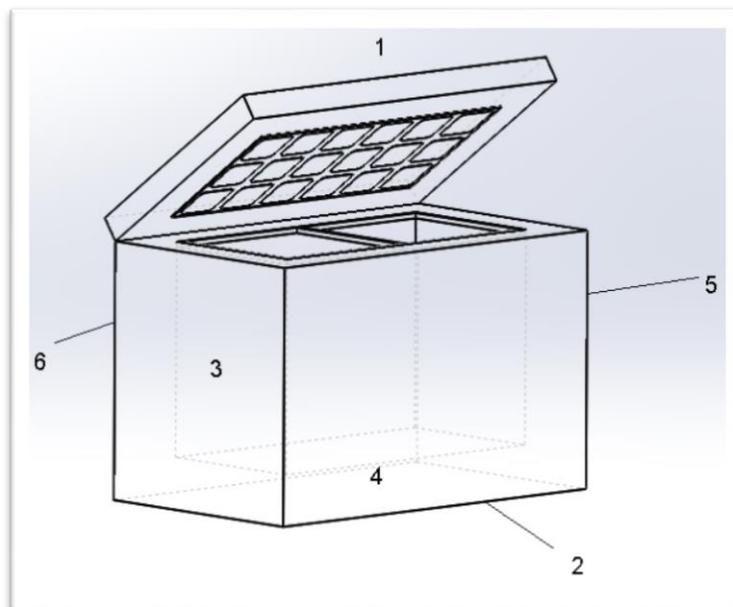


Figura 4.19 – Arca standart – numeração dos lados

Ganhos Térmicos por Condução

Relativamente aos ganhos térmicos por condução, as faces não possuem todas uma área igual (diferentes dimensões), assim, os ganhos térmicos por condução pelas paredes não serão iguais, além de que na porta de abertura (lado 1, figura anterior) considera-se uma espessura inferior de 80 mm de isolamento.

- $\Delta T_1 = (35^\circ - (-18^\circ)) = 53 \text{ }^\circ\text{C}$;
- $\Delta T_2 = (18^\circ - (-18^\circ)) = 36 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Espessura do isolamento (faces 2,3,4,5,6), $L_1 = 100 \text{ [mm]}$;
- Espessura isolamento (face 1 - tampa), $L_2 = 80 \text{ [mm]}$;
- Condutividade térmica k (Poliuretano rígido) = 0.028 [W/m.K] ;
- Coef. Global Condutividade Térmica $U_1 = 0.28 \text{ [W/m}^2\text{.K]}$;
- Coef. Global Condutividade Térmica $U_2 = 0.35 \text{ [W/m}^2\text{.K]}$.

Assim, considerando os valores acima indicados e utilizando as equações 2.9 e 2.10, elaborou-se Tabela 4.8

$$Q = A \times U \times (T_{ext} - T_{refrig}) \quad (2.9)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_{ext}}} \quad (2.10)$$

Tabela 4.8 - Áreas das paredes da arca congeladora e respetivos ganhos térmicos totais por transmissão (W)

Configuração	Área (3,5)	Área (4,6)	Área (2)	Área (1) tampa	Ganhos Transmissão Horário Operação (W)	Ganhos Transmissão Horário Não-Operação (W)
	m ²					
1	0.126	0,270	0,277	0,277	19.4	13.2
2	0.218	0,340	0,160	0,160	20.7	14.1
3	0.238	0,354	0,182	0,182	22.3	15.2
4	0.333	0,340	0,245	0,245	26.5	18.0
5	0.306	0,340	0,225	0,225	25.1	17.1
6.1	0.279	0,354	0,213	0,213	24.4	16.6
6.2	0.265	0,360	0,207	0,207	24.0	16.3
7	0.333	0,449	0,323	0,323	31.9	21.7

Ganhos Térmicos por Infiltração de Ar

Em relação aos ganhos térmicos por infiltração de ar proveniente do ambiente exterior, estabeleceu-se o número de aberturas totais (P), o tempo de abertura/fecho (θ_p), o tempo o qual a porta permanece efetivamente aberta (θ_o) e o tempo diário de funcionamento (tanto para o Horário de Operação como para o Horário Não-Operação). Os cálculos efetuados consideram a abertura como vertical, visto que só existe fórmulas de cálculo para esta situação.

Tabela 4.9 - Propriedades físicas do ar refrigerado (interior), ar infiltrado (1,2)

Propriedade	Abreviatura	Ar refrigerado interior (r)	Ar Infiltrado exterior (i)	Ar Infiltrado exterior (iz)
Humidade relativa (%)	HR	90	70	70
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Tr, Ti, Ti2	-18	35	18
Entalpia (kJ/kg)	hr, hi, hi2	-16.4	100	41
Massa Volúmica (kg/m^3)	$\rho_r, \rho_i, \rho_{i2}$	1.38	1.13	1.21

Nota: dados relativos às propriedades físicas do ar retirados do diagrama psicométrico.

Aplicando as equações relativas ao cálculo dos ganhos térmicos por infiltração (equação 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15 e 2.16), e estabelecendo os parâmetros abaixo (Tabela 4.10):

Tabela 4.10 - Parâmetros considerados no cálculo dos ganhos térmicos por infiltração de ar

Parâmetro	Unidade	Valor	Notas	
Área de abertura	A	m^2	-	Dependente da configuração (Tabela 4.7)
Altura da porta abertura	H	m	-	Considera-se o maior valor entre Comp. e Larg. (Tabela 4.7)
Fator de densidade1	Fm1	-	0.9777	Entre o ar interior (r) e o ar infiltrado exterior (i)
Fator de densidade2	Fm2	-	0.9853	Entre o ar interior (r) e o ar infiltrado exterior (iz)
Fator Escoamento	Df	-	0.8	Valor constante (ASHRAE, Refrigeration Load, 2002)
Fator Proteção	E	-	0	

Parâmetro	Unidade		Valor	Notas
Número de aberturas	P	-	25/2	Aberturas por hora, no total multiplicar pelas 9/15 horas
Duração da abertura/fecho	θ_p	(seg/abertura-fecho)	3	
Tempo efetivo abertura	θ_o	(seg)	10/90seg	
Tempo diário funcionamento	θ_d	(horas)	9/15	

$$q_t = \dot{Q} \times D_t \times D_f \times (1 - E) \quad (2.11)$$

$$\dot{V} = C_{\text{inf. infiltração}} A \sqrt{H} \left(\frac{\rho_r - \rho_i}{\rho_r} \right)^{1/2} \times F_m \quad (2.12)$$

$$F_m = \left(\frac{2}{1 + (\rho_r / \rho_i)^{1/3}} \right)^{1.5} \quad (2.13)$$

$$\dot{m} = \dot{V} \left(\frac{\rho_r + \rho_i}{2} \right) \quad (2.14)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}(h_i - h_r) \quad (2.15)$$

$$D_t = \frac{P \times \theta_p + \theta_o}{3600 \times \theta_d} \quad (2.16)$$

Compilando os dados obtidos com as diferentes configurações apresenta-se seguidamente as tabelas relativas aos ganhos térmicos por infiltração para o **Horário de Operação** e o **Horário Não-Operação** (Tabela 4.11 e Tabela 4.12 respetivamente):

Tabela 4.11 – Cálculos obtidos para os ganhos térmicos por infiltração, consoante a configuração (Horário de Operação).

Config.	Abertura			Dt	Q (kW)	Q _{total} (W)	Q _{total} Estimado (W)
	Comp (m)	Larg (m)	A (m ²)				
1	0,39	0,36	0,139	0.0903	3.6	359	90
2	0,25	0,32	0,080	0.0903	1.9	189	47
3	0,26	0,35	0,091	0.0903	2.3	225	56
4	0,25	0,49	0,123	0.0903	3.6	358	90
5	0,25	0,45	0,113	0.0903	3.2	315	79
6,1	0,26	0,41	0,107	0.0903	2.9	285	71

Config.	Abertura			Dt	Q (kW)	Q _{total} (W)	Q _{total} Estimado (W)
	Comp (m)	Larg (m)	A (m ²)				
6,2	0,27	0,39	0,103	0.0903	2.7	270	67
7	0,33	0,49	0,162	0.0903	4,8	473	118

Tabela 4.12 - Cálculos obtidos para os ganhos térmicos por infiltração, consoante a configuração (Horário Não-Operação).

Config.	Abertura			Dt	q (kW)	Q _{total} (W)	Q _{total} Estimado (W)
	Comp (m)	Larg (m)	A (m ²)				
1	0,39	0,36	0,139	0.0033	1.5	5.6	1.4
2	0,25	0,32	0,080	0.0033	0.8	3.0	0.7
3	0,26	0,35	0,091	0.0033	1.0	3.5	0.9
4	0,25	0,49	0,123	0.0033	1.5	5.6	1.4
5	0,25	0,45	0,113	0.0033	1.3	4.9	1.2
6,1	0,26	0,41	0,107	0.0033	1.2	4.5	1.1
6,2	0,27	0,39	0,103	0.0033	1.1	4.2	1.1
7	0,33	0,49	0,162	0.0033	2.0	7.4	1.8

Como se pode observar, os ganhos térmicos para o **Horário Não-Operação** são bastante pequenos comparativamente aos do **Horário de Operação** uma vez que a arca só é aberta 2 vezes durante as 15 horas e a temperatura do ar exterior (i_2) é bastante inferior (18°C).

Para o cálculo dos ganhos térmicos por infiltração de ar, os cálculos considerados são para aplicação a aberturas verticais (90°), isto porque, o cálculo para os ganhos relativos a escoamentos por aberturas horizontais é deverás complexo, não existindo ainda uma fórmula de cálculo praticável, carecendo este campo de estudos mais aprofundados. No entanto é possível teorizar um valor possível que apenas poderá ser validado por via experimental. Os estudos realizados por (Blomqvist PhD 2009) e (Blomqvist Paper VI) em modelos de escala, e por Li (2007) num modelo à escala real, indicam que o efeito de convecção natural por alteração da densidade do ar provocado pela variação da temperatura¹⁶, para uma abertura horizontal (0°) é cerca de 1/3 duma abertura vertical (90°) para as mesmas condições de temperatura e geometria da abertura. Isto significa que a resistência ao escoamento de ar, através de uma abertura horizontal, é cerca

¹⁶ *Buoyancy-Driven Flow*

de 3x superior do que numa abertura vertical. Ora, visto que dentro da arca frigorífica ocorre uma estratificação térmica acentuada do ar, pode-se inferir que a resistência ao escoamento será ainda maior, existindo menor transferência de massa e troca de calor. Por este motivo considerou-se uma redução de $\frac{1}{4}$ nos valores calculados para os ganhos térmicos por infiltração de ar. Somente por via experimental obter o valor para o ganho real de calor por infiltração de ar.

Ganhos Térmicos pelos Produtos

Em relação aos ganhos térmicos pelos produtos, considera-se que o produto (neste caso gelados) entram a -12°C e são arrefecidos até à temperatura de -18°C apenas durante o Horário Não-Operação, período o qual o produto é repostado na arca frigorífica. Este pressuposto estabelece que os gelados já estão arrefecidos (por um equipamento de armazenamento) quando entram na arca do veículo.

Pelo facto dos gelados entrarem já congelados, i.e., abaixo do ponto de congelação (existe apenas calor sensível), não são calculadas as cargas térmicas Q_1 e Q_2 (equação 2.17 e 2.18). Segundo (ASHRAE, Thermal Properties of Foods, 2006), o calor específico típico para gelados abaixo do ponto de congelação é de 2.75 (kJ/kg.K) . Com os dados referentes ao peso dos gelados (Tabela 4.5) procedeu-se ao cálculo dos ganhos térmicos por produtos utilizando as equações 2.19 e 2.20, representado na Tabela 4.13:

Tabela 4.13 - Carga Térmica por Produtos para cada configuração

Configuração	Nº <i>Cornetto</i>	Nº <i>Magnum</i>	Caudal de produtos	Carga Térmica Produtos
			Kg/s	W
1	160	80	0,000215	3,5
2	160	120	0,000253	4,2
3	160	160	0,000291	4,8
4	320	120	0,000392	6,5
5	160	240	0,000367	6,1
6.1	160	200	0,000329	5,4
6.2	240	120	0,000322	5,3
7	320	240	0,000506	8,3

$$Q_3 = \dot{m} \times c_{p2} \times (T_{\text{congelamento}} - T_{\text{refrig}}) \quad (2.19)$$

$$\dot{m} = \frac{m_1 + m_2 + \dots}{3600 \times \Delta t} \quad (2.20)$$

Segundo a literatura técnica de frio industrial, para a escolha da potência do compressor deve-se aplicar um coeficiente de segurança de 20%. Este coeficiente utilizado por projetistas da área é aplicado por forma a evitar que o compressor trabalhe continuamente. Deste modo o compressor irá trabalhar 80% do tempo, interrompendo o funcionamento nos restantes 20%. Assim multiplicou-se o ganho térmico total obtido pelo fator 1.2.

As tabelas resumo apresentadas abaixo (Tabela 4.14), permitem comparar para as diferentes configurações os diferentes tipos de ganhos térmicos (3), a energia consumida e a potência teórica do compressor. Apresenta-se também um tempo de venda, considerando um taxa de venda de 50 gelados por hora (vendem-se 2 por cada abertura).

Tabela 4.14 - Quadro resumo do total de ganhos térmicos (potência e energia); Potência do compressor necessário e Tempo de venda estimado

Config	Tipo Carga Térmica (W)			Total (W)	Total Energia (Wh)	Potência Compressor (W)	Tempo Venda
	Transmissão	Infiltração	Produtos	(W)	(Wh)	(W)	(hora;min)
1	19	90	0	109	983	131	4h50m
2	21	47	0	68	612	82	5h40m
3	22	56	0	79	707	94	6h30m
4	27	90	0	116	1045	139	8h50m
5	25	79	0	104	936	125	8h
6.1	24	71	0	96	861	115	7h15m
6.2	24	67	0	91	823	110	7h15m
7	32	118	0	150	1351	180	11h15m

Nota: “Total Energia (Wh)” representa a quantidade de energia a retirar do sistema para colmatar os ganhos térmicos num dia típico de operação (9-18h); “Potência Compressor” representa a potência do compressor teórico a aplicar à arca congeladora.

Tabela 4.15 - Quadro resumo do total de ganhos térmicos (potência e energia) para o Horário Não-Operação

Config	Tipo Carga Térmica (W)			Total (W)	Total Energia (Wh)
	Transmissão	Infiltração	Produtos	(W)	(Wh)
1	13	1	4	18	270
2	14	1	4	19	285
3	15	1	5	21	315
4	18	1	6	26	390
5	17	1	6	24	360
6.1	17	1	6	23	345
6.2	16	1	5	23	345
7	22	2	8	32	480

Analisando as tabelas anteriores pode-se constatar facilmente que o Horário de Operação tem um “peso energético” bastante superior comparativamente ao Horário Não-Operação, como se pode ver na Figura 4.20:

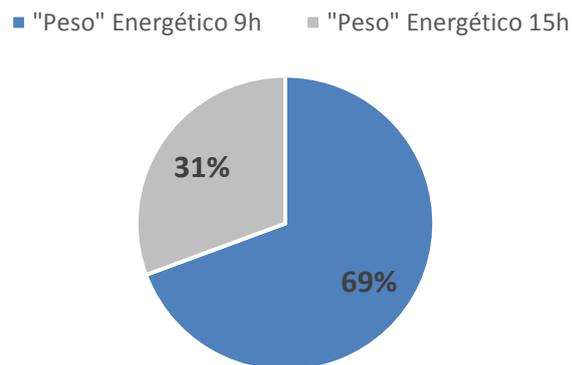


Figura 4.20 – “Peso” energético dos Horário de Operação/Não-Operação

4.1.6 Comparação entre a Energia produzida e Energia consumida

Para garantir a viabilidade energética do projeto é necessário realizar uma comparação entre a energia produzida pelo módulo fotovoltaico (posição horizontal – 0°C) e a energia que a arca congeladora irá consumir (energia consumida pelo compressor) durante o Horário de Operação, i.e., durante as horas em que o veículo irá operar na via pública (entre as 9:00 e as 18:00 horas).

Deste modo concebeu-se o quadro comparativo (Tabela 4.16) baseado nos valores obtidos pela Tabela 4.14:

Tabela 4.16 – Quadro comparativo entre a energia consumida

Config.	Nº <i>Cornetto</i>	Nº <i>Magnum</i>	Nº total Gelados	Potência Compressor (W)	Total Energia consumida (Wh)	Tempo Venda (h:min)
1	160	80	240	131	1179	4h50m
2	160	120	280	82	738	5h40m
3	160	160	320	94	846	6h30m
4	320	120	440	139	1251	8h50m
5	160	240	400	125	1125	8h
6.1	160	200	360	115	1035	7h15m
6.2	240	120	360	110	990	7h15m
7	320	240	560	180	1620	11h15

Assim, é necessário escolher uma configuração entre as (8) existentes para determinar a energia consumida por forma a dimensionar o sistema de armazenamento (passo seguinte).

Deste modo, utiliza-se como critério de seleção a energia produzida pelo módulo fotovoltaico horizontal para a situação mais desfavorável, i.e., a cidade do Porto no mês de Setembro (como visto na Figura 4.13), sendo a energia produzida estimada de **926 (Wh)** para um dia típico desse mês.

Adicionalmente é também necessário ter em consideração o tempo de venda para cada configuração de arca congeladora, de modo a que exista uma quantidade considerável de gelados para garantir que o produto não irá escassear prematuramente (considerando que se vendem 50 gelados por hora). Este critério é subjetivo pois é mais importante garantir que o módulo

fotovoltaico produza energia suficiente para alimentar a arca, do que efetuar a escolha em função do tempo de venda.

Analisando a tabela anterior e utilizando o critério da energia produzida pelo módulo (926 Wh) selecionou-se a **configuração número três (3)**.

Rendimento do Sistema

O rendimento do sistema (η_{sist}) permite uma análise da quantidade de energia solar incidente no painel, até à entrega de energia ao consumo final (energia útil fornecida ao compressor da arca frigorífica), durante o Horário de Operação.

$$\eta_{sist} = \frac{E_{util}}{E_{solar\ incidente}}$$

Onde:

E_{util} é a energia útil consumida pelo compressor da arca frigorífica, kWh;

$E_{solar\ incidente}$ é a energia solar incidente absorvida na superfície do painel, kWh

Sendo a energia consumida durante as 9 horas de funcionamento igual a **846 Wh**, e a quantidade total de energia solar incidente no painel fotovoltaico apresentada na Figura 4.8 (subcapítulo 4.1.3), o **rendimento médio global do sistema** obtido para os meses de operação é de **14%** (ver Anexo III).

No início do projeto a energia do módulo fotovoltaico irá gerar 37.5% que iria ser gasta para manter os produtos refrigerados.

No entanto, a degradação linear vai condicionar a estimativa de produção de energia isto porque o módulo vai perdendo capacidade produtiva com a avançar dos anos. Sabendo que o módulo da *Globalsun* apresenta uma garantia de 25 anos, ao fim do qual garante a 80% da capacidade produtiva (diminuição 0.8% do rendimento ao ano). No final do tempo de vida útil o sistema apresenta um rendimento global de 11.4%. Apresenta-se seguidamente a diminuição da energia produzida pelo módulo fotovoltaico ao longo do tempo de vida útil para o mês de Setembro (mês crítico) para as três localidades (Porto, Lisboa e Faro) em estudo.

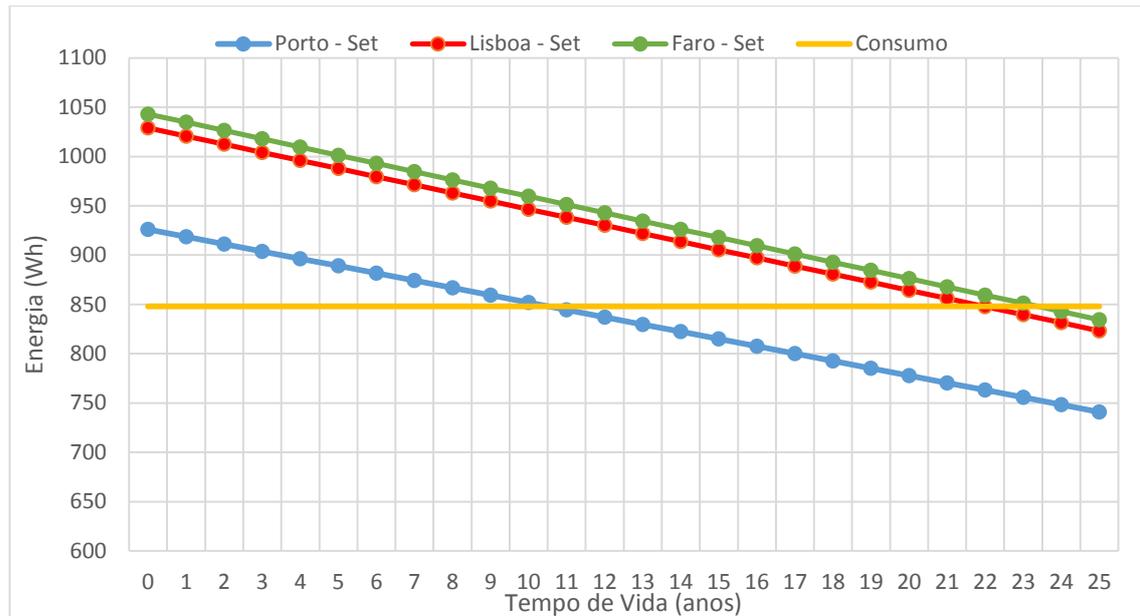


Figura 4.21 – Diminuição progressiva da energia produzida pelo módulo ao longo do tempo de vida para o mês de Setembro nas 3 localidades em estudo (Porto, Lisboa e Faro).

Constata-se que *Globalsun* conseguirá alimentar a arca para todos os meses em estudo, durante os 25 anos de vida útil do projeto, com exceção do mês de Setembro. Para este mês, o módulo apenas conseguirá alimentar os primeiros 10 anos de operação para a região do Porto, 22 anos para a região de Lisboa, e para 23 anos para a região de Faro. Apesar disso, para o 25º ano, a poupança de energia diária ainda será de 33%, 36% e 37%, respetivamente, para Porto, Lisboa e Faro.

4.1.7 Dimensionamento das Baterias e Configuração do Sistema de Alimentação

- Estabelecimento das soluções (5)
- Escolha do controlador de carga (MPPT ou PWM)
- Dimensionamento do sistema de armazenamento (baterias)

Inicialmente é necessário escolher a tensão do sistema. A escolha da tensão do sistema é crucial para a seleção dos componentes do sistema, nomeadamente do sistema de armazenamento (baterias) e do controlador de carga. O critério na escolha da tensão prende-se sobretudo com o consumo (potência) dos equipamentos que se pretende alimentar.

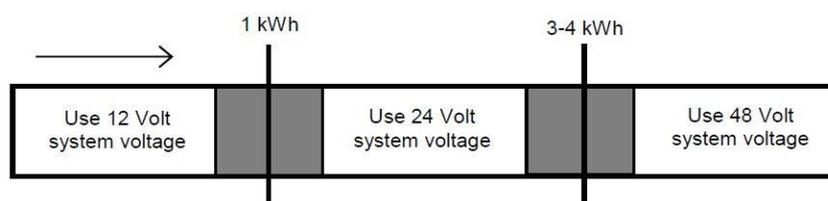


Figura 4.22 – Tensões de sistema aconselhadas (SEI-API, 2012).

Assim para sistemas “pequenos” as tensões do sistema normalmente são de 12V e 24V. A eficiência do sistema dependerá da escolha da tensão a que este irá funcionar, i.e., para uma mesma potência, o aumento da tensão de trabalho implicará menor intensidade de corrente a circular no sistema (Lei de *Ohm*, $P=V.I$). Sendo menor a circulação de corrente, menores serão as perdas por Efeito de Joule ($P=R.I^2$) e, conseqüentemente, menor será a secção dos cabos a utilizar. No entanto, a desvantagem é o custo e peso do sistema serem mais elevados (são necessárias mais baterias em série para aumentar a tensão do sistema). Para o caso em estudo, a tensão máxima do módulo *Globalsun* (255W) é de 30V, sendo a tensão de circuito aberto (V_{oc}) de 38V. Deste modo, considera-se duas (2) tensões para o sistema em estudo: **12V** e **24V**.

Em relação ao tipo de corrente (AC ou DC), pelo fato de o módulo fotovoltaico produzir corrente contínua, bem como o acumulador de energia (bateria), o tipo de corrente considerado para o sistema será do tipo DC. Deste modo evita-se a necessidade de converter a corrente para CA através do uso de um inversor (que aumenta as perdas), garantindo assim maior eficiência ao sistema (além da redução de custo de compra do inversor). Assim o compressor da arca congeladora terá de ser apropriado para operar com tensões 12/24V e corrente DC.

Outro aspeto importante é a eficiência do subsistema. A eficiência do subsistema é composta pelas perdas que ocorrem nos componentes do sistema: cabos; controlador de carga; e baterias.

Ou seja, a eficiência do subsistema é a multiplicação das eficiências destes componentes. Isto implica que a energia fornecida pela(s) bateria(s) tenha em consideração estas perdas de energia ao longo do sistema.

O peso dos componentes representa um requisito importante na seleção da configuração pois, sendo um veículo móvel, quanto menor for o peso global, mais fácil será a sua locomoção.

Deve-se ter em atenção a versatilidade da configuração do sistema pois deve permitir a substituição por componentes que porventura poderão ter potências, tensões ou correntes maiores. Aqui incide particularmente a escolha do controlador de carga (C.C), pois, caso exista uma mudança do painel ou bateria, este deve conseguir gerir as novas tensões e correntes de entrada/saída.

O custo é e sempre será um critério muito importante para as empresas pelo que é necessário que exista um compromisso entre Performance vs. Custo para a viabilidade do projeto.

Associado ao custo está o tempo de vida útil do sistema. Salienta-se o caso do sistema de armazenamento (baterias): sendo este geralmente o primeiro componente a ser substituído e o facto de possuir um preço elevado, interessa prolongar o máximo a vida útil das baterias tendo em consideração o custo destas (relação custo vs. vida útil). A principal forma de aumentar a vida útil de um sistema é reduzindo a Profundidade de Descarga (*DoD*) das baterias, como abordado em 2.3.1. Deste modo, colocando baterias com maior capacidade (no entanto mais dispendiosas), menor será a *DoD*, aumentando assim a durabilidade destas.

Outro aspeto a considerar são as condições de operação em que os componentes irão operar. Sendo este um veículo móvel *Outdoor*¹⁷, e apesar de os componentes estarem num ambiente fechado, estes devem ser capazes de operar sem prejuízo de funções, independentemente das vibrações e variações térmicas a que estarão sujeitos.

Considerando os aspetos acima referidos procedeu-se à elaboração de cinco **(5) soluções** para o sistema de alimentação. Para todas as soluções, o conjunto de baterias é colocado em paralelo com o fluxo de energia do sistema. Este tipo de configuração proporciona algumas vantagens relativamente à eventual configuração em série, i.e., após as baterias ficarem completamente carregadas, o conjunto de baterias pode ser desligado do sistema, preservando assim a integridade dos componentes do sistema.

¹⁷ Funcionamento em ambientes externos

Solução 1: a solução 1 adota uma tensão de sistema de 12V e um painel fotovoltaico da marca *Globalsun P255GSP* com potência nominal de 255W. Relativamente ao sistema de armazenamento, este pode ter três (3) configurações diferentes possíveis:

- **Solução 1.1:** 1 x Bateria de **12V**;
- **Solução 1.2:** 2 x Baterias de **6V em série**;
- **Solução 1.3:** 2 x Baterias de **12V em paralelo**;

Solução 2: a solução 2 adota uma tensão de sistema de 24V e um painel fotovoltaico da marca *Globalsun P255GSP* com potência nominal de 255W. Relativamente ao sistema de armazenamento este pode ter duas (2) configurações possíveis:

- 2 x Baterias de **12V em série**;

Para o caso da *Solução 2*, é importante referir que é preferível colocar duas baterias de 12V em série¹⁸, e deste modo obter a tensão final de 24V, ao invés de uma única bateria de 24V devido ao facto de diminuir o esforço a que as baterias estarão sujeitas. Além disso a disponibilidade comercial de baterias 24V é limitada.

Solução 3: a solução 3 é uma versão mais evoluída, porém também mais cara, que utiliza uma bateria de 12.8V de Lítio (LFP) da marca *Victron Energy*. As baterias *Victron* possuem integrado um controlo BTV (*Balancing, Temperature and Voltage control*) caso se conecte um elemento protetor das células de Lítio (BMS) – explicado mais adiante.

- 1 x Bateria de **12.8V**;

Antes da seleção das baterias a utilizar para o sistema de armazenamento, selecionaram-se os controladores de carga que cada solução terá, baseados no tipo de bateria e as características do módulo fotovoltaico *Globalsun P255GSP*.

¹⁸ Ver subcapítulo 2.3.1 relativamente à colocação do banco de baterias em série e paralelo

Seleção do Controlador de Carga

A utilização de baterias obriga que se torne indispensável a utilização de um regulador adequado (controlador de carga) que faça a gestão do funcionamento da bateria (carga e descarga) e que prolongue o tempo de vida útil da(s) baterias(s), por forma a proteger e garantir fiabilidade do sistema.

As principais características pretendidas para os C.C. do veículo são as seguintes:

- Efetue a carga/descarga correta das baterias
- Proteção contra sobrecargas
- Prevenção de descargas indesejáveis (fenómeno de corrente inversa)
- Proteção contra descargas profundas das baterias
- Informação sobre o estado de carga

É importante mencionar que para a **(Solução 1)** a diferença entre a tensão máxima de trabalho (30V) e a tensão das baterias (12V) é elevada, por esta razão, é necessário que o C.C. escolhido consiga converter esta amplitude de tensões de forma a aumentar os ganhos possíveis. Para isso é necessário um controlador de qualidade do tipo MPPT, como referido em 2.4. Relativamente à corrente máxima de entrada, esta deve ser superior à corrente máxima gerada pelo módulo fotovoltaico.

$$I_{CC} > I_{\max}$$

A corrente máxima (*short circuit current*) do módulo selecionado é de **9,00 A**. Existindo a possibilidade de aumentar a potência do módulo fotovoltaico, e conseqüentemente a corrente, deve-se escolher um CC com corrente de entrada superior, com vista à versatilidade da configuração (possibilidade substituição por módulos com correntes superiores).

Os CC selecionados tem em consideração o tipo de bateria, nomeadamente, as tensões de carregamento (*End of Charge Voltage, Boost Charge Voltage, Equalisation Charge Voltage*) bem como as características do módulo (tensão de circuito aberto, corrente curto-circuito e potência dos painéis).

Após a consulta do fornecedor da Empresa, selecionaram-se (figura 4.23):

- Solução 1: *Steca Solarix MPPT 2010*;
- Solução 2: *Steca PR 1515*;
- Solução 3: *BluePower MPPT 100/30*;

As fichas técnicas podem ser consultadas no Anexo IV.

O modelo *Steca Solarix MPPT 2010* possui tecnologia de gestão do tipo seguidor ponto de máxima potência. Especialmente dimensionado para operar em todos os sistemas solares com módulos de tensão elevada de trabalho comparativamente à tensão da bateria (12V ou 24V). Este C.C. possui proteções contra: descarga profunda; corrente curto-circuito; corrente inversa; excesso de temperatura; carga. Permite correntes de entrada até 20A e correntes de saída até 10A, permitindo conectar módulos de até 250W de potência nominal. Este controlador tem um preço de 227,00 € (com desconto para parceiros de 30%, fica por 158,90 €).

O modelo *Steca PR 1515* é um controlador de carga com tecnologia do tipo PWM (*Pulse Width Modulation*), combinado com sistema de deteção estado de carga (SoC) *Steca AtonIC*. Equipado com ecrã LCD, permite conectar módulos até 900Wp¹⁹ de potência de saída. Admite correntes de entrada/saída até 15A. O seu preço é de 98,00 € (68,00 € para parceiros).

O modelo *BluePower MPPT100/30* da marca Victron permite conectar módulos até 440W, com Voc até 100V e corrente máxima de 30A. Possui um algoritmo de carregamento específico para aplicar a baterias de lítio, o qual pode ser programado através de um cabo *VE.Direct USB Bluetooth*, que conecta ao CC, e a aplicação/programa específico da marca *MPPTprefs* (Victron Energy, 2015). Tem um custo de 200,00€



Figura 4.23 - *Steca PR1515* (esquerda); *Steca Solarix MPPT 2010* (centro); *BluePower MPPT100/30* (direita).

¹⁹ Wp: "Watt pico", potência máxima.

Importa referir que no caso das **soluções 1.1, 1.2 e 1.3**, utiliza-se o *Steca PA RC 100* para programar o controlador de carga *Steca Solarix MPPT2010*, e deste modo programar as tensões e assim o processo de carga da bateria. No caso da **solução 2** é possível programar diretamente o processo de carga no visor *display*.

No caso da **solução 3** (bateria de Lítio), segundo a literatura da especialidade, é sabido que as tensões das células podem variar ligeiramente pois existe a probabilidade que no seu processo de fabrico ocorra falhas, podendo uma célula ter diferente tensão relativamente às restantes (mpoweruk, 2015). Ora, por mais que a diferença de tensão seja mínima, estas células são bastante sensíveis principalmente a sobrecargas, assim, é aconselhado o uso de um BMS (*Battery Management System*) para controlar a tensão e temperatura de cada célula individualmente, para assim controlar o processo de carga e assim preservar a integridade da bateria, aumentando o seu tempo de vida útil. Para este caso poder-se-á utilizar um BMS da marca *Victron* (*VE.Bus BMS*) conectado ao CC BluePower MPPT100/30 através de um cabo²⁰ (para desligar o CC em caso de uma célula estar em risco). Para esta solução é também utilizado o *BMV-700* (marca *Victron*) que é um monitor de bateria de elevada precisão. A função deste aparelho é determinar os Amp-Hora consumidos, o estado de carga da bateria e estimar o tempo restante de autonomia.



Figura 4.24 – *VE.Bus BMS* (direita) e *BMV-700+Shunt* (direita)

²⁰ Cabo “*VE.Direct non inverting remote on-off cable (ASS030550300)*” disponível no catálogo da marca *Victron*.

Dimensionamento das Baterias

As baterias são o primeiro componente a desgastar-se num sistema fotovoltaico, desta forma, a sua escolha deve ter consideração a capacidade de carga (maior capacidade de carga, maior será a quantidade de carga que pode ser armazenada), bem como o número de ciclos e o custo de aquisição, de modo a obter um tempo de vida útil apreciável a um custo suportável.

As baterias usadas no sistema devem possuir determinadas características:

- Confiabilidade
- Baixa Auto descarga
- Devem estar preparadas para ciclos profundos de descarga (DoD)²¹
- Livre de manutenção
- Devem ceder uma potência instantânea superior aquela que o painel é capaz de fornecer no seu melhor momento para conseguir assegurar a potência de arranque do compressor de uma arca congeladora.

Relativamente ao tipo de bateria (Solução 1 e Solução 2), as baterias do tipo **VRLA AGM** tem demonstrado bom desempenho em aplicações móveis: não existe derramamento de fluido (pelo facto de ser selada); podem operar em qualquer posição; não necessitam de manutenção; e apresentam boa performance para descargas de arranque elevadas (resistência interna baixa). Carregam cerca de 5x mais rápido que as baterias do tipo FVLA e, uma vez que não existe libertação de gases, os requisitos para acomodação da bateria são menos exigentes. Apesar de serem mais sensíveis a sobrecargas (do que as tipo GEL), um controlador de carga de qualidade permite contornar esta questão.

As baterias do tipo **VRLA GEL** também podem ser adequadas para a função (possuem maior tempo de vida útil) no entanto, são mais indicadas para descargas mais duradouras com baixa corrente (a resistência interna é superior à das baterias AGM). Ou seja, sendo a carga do sistema uma arca frigorífica (compressor), as descargas de arranque são elevadas, podendo prejudicar o bom funcionamento deste tipo de baterias.

²¹ Devido à inconstância das condições meteorológicas (radiação solar), é necessário que a(s) bateria(s) consigam alimentar a arca congeladora mesmo num dia em que a produção de energia seja reduzida/nula.

Existem ainda as baterias iões de Lítio (LFP) que possuem características superiores a nível de peso (cerca de quatro vezes mais leve), dimensões (cerca de metade), número de ciclos, e tensões terminais mais altas e estáveis, podendo ser carregada num período de tempo bastante menor comparativamente às VRLA.

A Tabela 4.17 apresenta os valores considerados para as características de funcionamento, que permitem estimar a capacidade (Ah) de cada bateria deverá possuir:

Tabela 4.17 - Características de funcionamento para dimensionamento do sistema de armazenamento

Características de funcionamento	Unidade	Valor	Notas
Autonomia	Dias	1	24 horas
Profundidade de Descarga (<i>DoD</i>)	%	50(VRLA)/80(LI)	Quanto maior <i>DoD</i> , menor a vida útil das baterias
Tensão do sistema	V	12V ou 24V	
Tempo de funcionamento	horas	9	Entre as 9:00h e 18:00h
Eficiência (cabos)	%	99	Valor típico (desejado)
Eficiência Baterias VRLA	%	85	Valor típico
Eficiência Baterias Lítio	%	92	Valor Fabricante
Eficiência CC <i>Steca PR1515</i>	%	92	Valor Fabricante
Eficiência CC <i>Steca Solarix MPPT2010</i>	%	95	Valor Fabricante
Eficiência <i>BluePower MPPT100/30</i>	%	98	Valor Fabricante

Para a(s) bateria(s), a conversão da energia elétrica em energia química e de novo em energia elétrica, é um processo difícil de calcular em termos energéticos visto que envolve pormenores relativos à construção, temperatura, profundidade de descarga, intensidade da carga e descarga e idade. Neste caso só é possível estimar a eficiência destas baseadas em valores baseados na experiência. Na prática aceitam-se eficiências de **80-90%** para baterias VRLA (ALTENER; Comissão Europeia, 2004).

A Tabela 4.18 apresenta os valores calculados segundo as equações apresentadas em 2.3.2 (equações 2.4, 2.5, 2.6 e 2.7) para o cálculo da capacidade que as baterias deverão possuir.

Tabela 4.18 – Cálculos relativos à obtenção da capacidade (Ah) necessária das baterias

Tensão (V)	Solução	Consumo inst. Compressor (W)	Energia consumida (Wh)	Consumo diário (Ah)	Consumo Corrigido (A.h)	Consumo no Banco de Baterias (A.h)
12	1.1	94	848	71	88	177
12	1.2	94	848	71	88	177
12	1.3	94	848	71	88	177
24	2	94	848	35	46	91
12,8	3	94	848	66	74	93

Para a seleção das baterias consultou-se o catálogo do fornecedor da Empresa (catálogo disponível em Anexo IV), tendo em consideração as características mencionadas anteriormente.

Seguidamente apresentam-se os cálculos efetuados para cada solução (Tabela 4.19), onde se inclui a vida útil estimada (anos) considerando que por ano são realizados 100 ciclos completos, claramente um valor superior ao que acontecerá na realidade (Maio – Setembro são 153 dias, considerando 50% de descarga parcial, irão ocorrer $153 \cdot 0.5 = 76.5$ ciclos completos). Adicionalmente inclui-se a medida de comparação LCOE (abordada em 2.3.6) e o tempo de carga estimado.

Tabela 4.19 – Cálculos do sistema de armazenamento para as soluções em estudo

	Solução 1.1 (12V)	Solução 1.2 (12V)	Solução 1.3 (12V)	Solução 2 (24V)	Solução 3 (12V)
Tensão	12V	6V+6V (série)	12V+12V (paralelo)	12V+12 (série)	12,8V
Bateria	Rolls S12/230	2x Rolls S6/275	2x Rolls S12/116	2x Rolls S12/116	Victron Lithium 12,8V
C10 (Ah)	189	220	153	95	90
Peso (kg)	61	69	60	60	16
Custo (€)	536,12 €	618,34 €	529,84 €	529,84 €	1 100,00 €
Nº Ciclos Expectável	>1200	>1200	<1200	>1200	2500
DoD*	46%	40%	57%	45%	81%
Vida útil estimada (anos)	12	15	12	12	25
LCOE (€/kWh)	0,503	0,464	0,497	0,480	0,510
Tempo estimado de carga a 15ª (horas)	14	17	14	7	6

*Visto que é pouco frequente encontrar baterias com a capacidade exata calculada, selecionaram-se baterias com capacidade aproximada e recalculou-se o *DoD* para deste modo estimar a vida útil da(s) bateria(s). Para cada novo valor de *DoD*, consultou-se as tabelas do respetivo fabricante para determinar o número de ciclos aproximado. (consultar especificações em Anexo IV).

A Figura 4.25 apresenta os principais parâmetros comparados na tabela anterior:

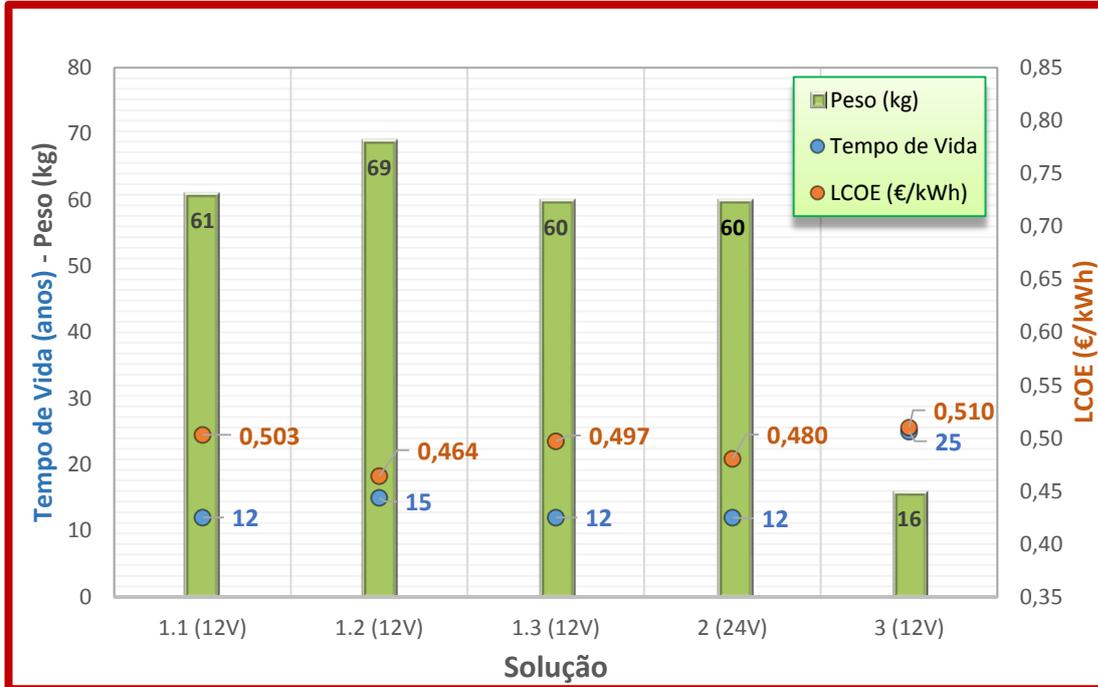


Figura 4.25 – Principais parâmetros das baterias analisados para cada solução estudada.

Relativamente ao peso das soluções (apenas as baterias) verifica-se que a solução 1.2 é a mais pesada (69kg), seguido pelas soluções 1.1 (61kg), 1.3 e 2 (ambas com 60kg). A solução 3 é de longe a mais leve (16kg) sendo bastante vantajosa nomeadamente pelo facto de o projeto ser um veículo móvel, ou seja, quanto menor o peso menor será a dificuldade de o movimentar (menor energia será necessária no caso de implementação de um sistema de locomoção).

Relativamente ao tempo de vida útil estimado, a solução mais duradoura é claramente a solução 3 (25 anos), seguida pela solução 1.2 (15 anos), e por último pelas soluções 1.1, 1.3 e 2 (12 anos).

Quanto ao parâmetro LCOE (*Levelised Cost of Energy*) que, como observado em 2.3.6, inclui o preço da bateria, a energia que esta armazena, número de ciclos e profundidade de descarga, as soluções variam poucos cêntimos entre si, sendo a solução 1.2 a que apresenta melhor resultado (0.464 €/kWh), seguida pelas soluções 2, 1.3 e 1.1, respetivamente com, 0.480, 0.497, 0.503 €/kWh. A solução com pior LCOE é a solução 3 no entanto, com a generalização desta tecnologia, prevê-se que com o passar dos anos este valor decresça.

4.1.8 Resumo das Soluções concebidas

Solução 1.1/1.2/1.3

Comparando estas 3 soluções verifica-se que a melhor solução deverá ser a Solução 1.2. Apesar de ser ligeiramente mais pesada (mais 8-9kg) que as Soluções 1.1 e 1.3, apresenta mais 3 anos de vida útil e menor LCOE da bateria (0.464 €/kWh). O seu investimento inicial é o mais baixo comparativamente às restantes. Como referido anteriormente, estas soluções usam baterias VRLA do tipo AGM pois, sendo a carga uma arca frigorífica que necessita cargas elevadas para o arranque do compressor, estas apresentam melhores performances para descargas de intensidade elevada) do que as baterias de Gel (as AGM possuem menor resistência interna do que as baterias do tipo GEL). Quanto ao gestor de energia, o uso de controladores de carga do tipo MPPT (*Steca Solarix MPPT 2010*) permite obter produções de energia maiores (até 30%) uma vez que busca o ponto de potência máxima do módulo. Assim permite conectar módulos fotovoltaicos mais potentes com tensões bastante superiores aos do sistema de armazenamento. Em relação ao carregamento das baterias no Horário Não-Operação, as baterias *Rolls AGM* podem ser carregadas com 0.25C da capacidade nominal, assim, dentro dos carregadores disponibilizados pelo fornecedor selecionou-se um carregador de 12V e corrente máxima de 15A (para as Soluções 1.1 e 1.3) e um carregador 12V de corrente máxima 30A para a Solução 1.2 – a escolha deste carregador para esta solução em particular prende-se com a redução do tempo de carregamento conjunto de baterias que esta solução possui.

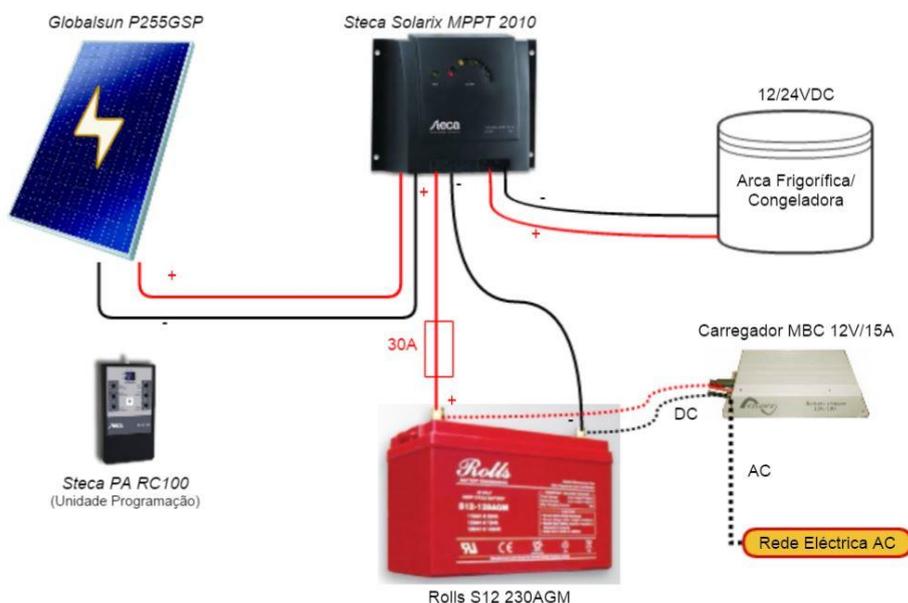


Figura 4.26 – Esquema Solução 1.1 – 12V.

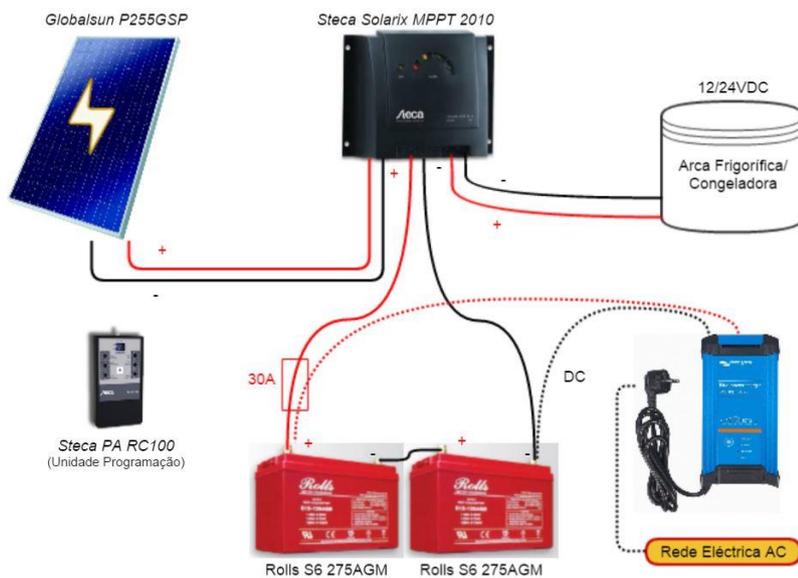


Figura 4.27 – Esquema Solução 1.2 – 6+6V em Série.

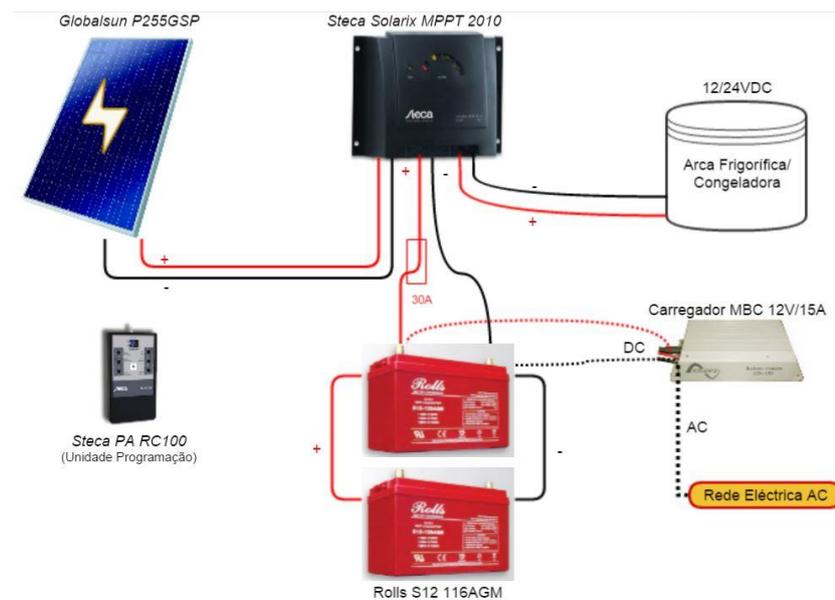


Figura 4.28 – Solução 1.3 – 12+12V em Paralelo.

O custo para a solução 1.1, 1.2 e 1.3 será respetivamente, 886,90€, 934,74€ e 882,51€. O orçamento detalhado para as soluções mencionadas encontra-se disponível no Anexo V.

Solução 2

A solução 2 é bastante similar às anteriores no entanto possui uma tensão de sistema de 24V (duas baterias VRLA AGM de 12V em série). É vantajosa relativamente às perdas de energia por efeito de Joule (cerca de $\frac{1}{4}$) comparativamente às soluções de 12V – cabos menor seção. Apresenta um tempo de vida útil similar as soluções anteriores (12 anos) e o seu LCOE é bastante razoável, sendo o 2º mais baixo (0.480 €/kWh). Quanto ao controlador de carga, utiliza-se um CC do tipo PWM (*Steca PR1515*) pois a tensão máxima produzida pelo módulo aproxima-se da tensão do sistema, permitindo ao PWM ter uma performance semelhante ao MPPT, por um custo bastante menor (abordado em 2.4.1).

A solução 2 terá um custo de 764,21€. O orçamento detalhado para a solução mencionada encontra-se disponível no Anexo V.

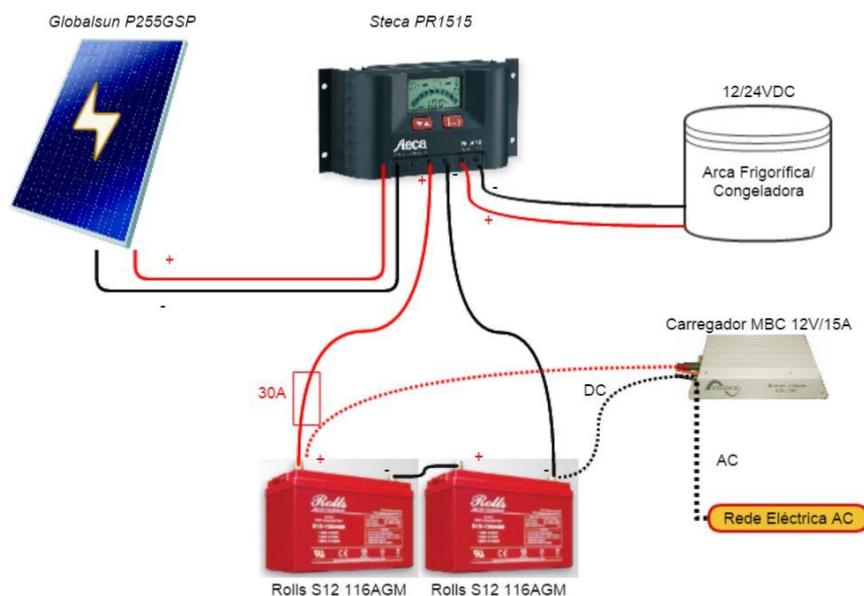


Figura 4.29 – Solução 2 (24V).

Solução 3

A solução 3 é tecnologicamente mais evoluída e apresenta grande vantagem relativamente ao peso, dimensões e tempo de vida útil da bateria (25 anos). A velocidade de carga das baterias de Lítio é bastante superior, necessitando de menores períodos de tempo para o carregamento das baterias (estima-se 6 horas a 15A). Pelo facto de se utilizar este tipo de baterias, esta solução necessita de um algoritmo de carregamento específico para baterias de Lítio que seja veloz e de qualidade, para assim controlar com precisão e frequência elevada a tensão da bateria. Esta é a razão pelo qual se utilizada o CC *Victron BluePower MPPT 100/30* bem como, o carregador *IP12/15* da mesma marca.

Embora aumente os custos e a complexidade da configuração, o uso de um dispositivo BMS (*VE.Bus BMS Victron*) para controlar com segurança as tensões das células de Lítio é aconselhado (não obrigatório), conforme explicado no ponto anterior aquando da seleção do controlador de carga.

Como pontos negativos, o investimento inicial é bastante superior comparativamente às soluções com baterias VRLA, no entanto, o preço das baterias de Lítio tem visto a decrescer rapidamente (Beetz, 2015) (King, 2015).

Esta solução terá um custo de 1766,0€ ou 1857,0€ (com sistema BMS incluído). O orçamento detalhado para a solução mencionada encontra-se disponível no Anexo V.

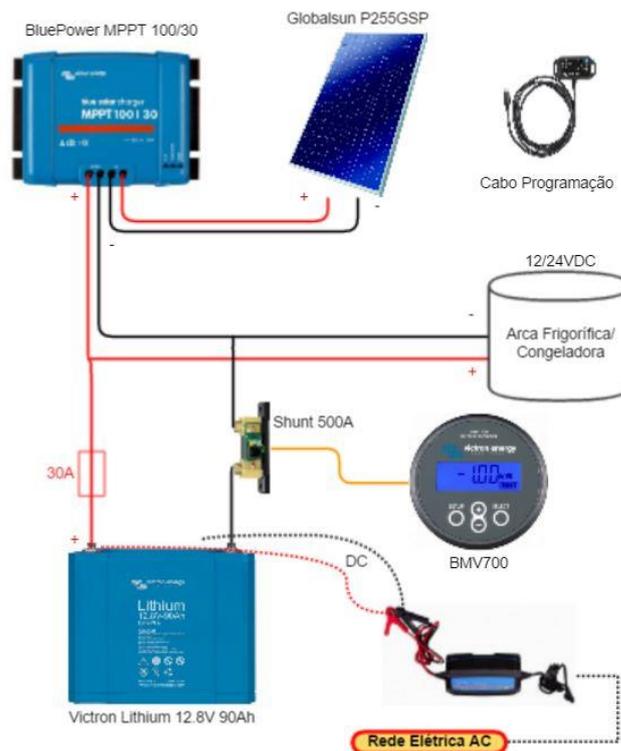


Figura 4.30 – Solução 3 (12.8V).

4.2 Avaliação das Soluções

Como foi referido no início desta dissertação, o foco do projeto recairá sobre o sistema de alimentação solar, sendo este alvo de uma avaliação relativamente a algumas especificações de desempenho (subcapítulo 3.3). Realizaram-se dois (2) tipos de avaliações aplicando os conhecimentos apreendidos na unidade curricular de Teoria do Projeto Mecânico, as quais podem ser consultadas em pormenor no anexo VI.

Resumidamente as avaliações (2) basearam-se no “Método dos Objetivos Ponderados”. Este método passa pela atribuição de pesos relativos aos critérios (objetivos) selecionados para a avaliação, consoante a importância destes para o cliente/projetista. Posteriormente a estes critérios, é atribuída uma pontuação de “utilidade”, habitualmente com a aplicação de uma escala de 5 ou 10 classes. O objetivo é converter os critérios em avaliação em parâmetros que possam ser medidos ou estimados. As pontuações mais elevadas correspondem ao melhor desempenho possível para determinado critério. Finalmente multiplica-se as pontuações (“de utilidade”) pelos valores dos “pesos”, dando um conjunto de pontuações ajustadas para cada alternativa que indicam o valor relativo de “utilidade” dessa alternativa (solução). A melhor alternativa deverá ser a que apresentar maior “valor global de utilidade”. Este valor pode ser enganador devendo ser discutido e avaliado por todos os elementos do processo, no entanto, as discussões, classificações e comparações envolvidas nesta análise terão decerto contribuído para a procura de uma solução aceitável.

A avaliação das soluções é um processo subjetivo uma vez que o peso relativo dos critérios escolhidos pode variar consoante as preferências da empresa. Assim, os métodos aplicados servem como um guia para o cliente, o qual pode alterar os critérios conforme as suas preferências.

O esquema indicado abaixo apresenta um exemplo dos critérios (objetivos) considerados relevantes para avaliar as soluções concebidas para o sistema de alimentação solar, e os respetivos pesos relativos consoante a sua importância.

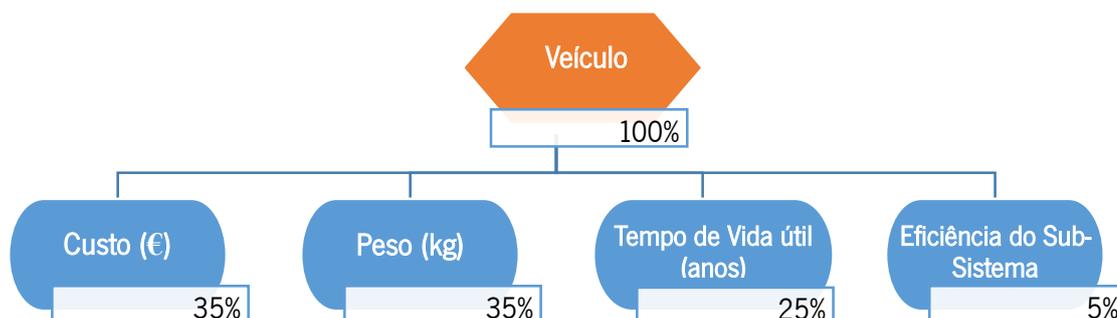


Tabela 4.20 – Valores dos critérios adotados para avaliação

Solução	Custo (€)	Peso (kg)	Tempo Vida útil (anos)	Ef. Sub-Sistema
1.1	886.9	171.8	12	80%
1.2	934.3	174.3	15	80%
1.3	882.51	164.8	12	80%
2	764.2	164.2	12	77%
3	1766.0	120.4	25	89%

Atribuindo pontuações numa escala de 5 e 10 classes obteve-se a seguinte ordem de “Valores Globais de Utilidade” (Tabela 4.21).

Tabela 4.21 – Avaliação das Soluções segundo escala de 5 e 10 classes.

Avaliação	Valor Global de “Utilidade”					Ordenação por ordem decrescente
	1.1	1.2	1.3	2	3	
1 (5 classes)	3.00	3.00	3.00	2.95	3.20	3 – 1.2 – 1.3 – 1.1 – 2
2 (10 classes)	5.75	5.65	5.75	6.05	6.20	3 – 2 – 1.3 – 1.1 – 1.2

A aplicação detalhada das avaliações pelo método dos objetivos ponderados pode ser consultada no Anexo VI.

4.3 Estudo Viabilidade Económica

A tecnologia fotovoltaica apresenta bastante potencial de crescimento como visto anteriormente, no entanto, este projeto só se verificará viável caso o veículo projetado seja financeiramente compensador para o utilizador. Assim é recomendável realizar um estudo de viabilidade económica com o objetivo de aferir a rentabilidade do projeto, durante o tempo de vida útil deste. Neste tipo de estudo são efetuadas previsões dos ganhos (fluxos positivos) e das perdas (fluxos negativos), também conhecido como fluxo de capital ou *cash-flow*, resultantes da atividade e posteriormente são calculados os indicadores de viabilidade económica do projeto: Valor Atual Líquido (**VAL**), a Taxa Interna de Rentabilidade (**TIR**), o Retorno de Investimento (**ROI**) e o Período de Retorno do Investimento (**PRI**). Importa mencionar que, pelo facto de estes indicadores se basearem em dados estimados, existe sempre um grau de incerteza elevado.

Relativamente ao sistema de preços desta análise, considera-se que um sistema a preços constantes, i.e., os *cash-flows* são atualizados no tempo (através de uma taxa de atualização) a taxas reais de inflação – taxa de atualização real.

A determinação da taxa de atualização poderá ser obtida da seguinte forma (não tem em conta o conceito de custo de oportunidade):

$$r = \frac{1+i}{1+\pi} - 1$$

Onde,

r = taxa de atualização

i = taxa juro nominal

π = taxa de inflação

O Valor Atual Líquido (VAL) trata-se de uma medida absoluta de rentabilidade que traduz, numa perspetiva do momento presente, o montante dos fluxos positivos gerados durante o período de vida útil do investimento, menos os fluxos negativos, depois de atualizados a uma taxa de atualização convenientemente escolhida.

$$VAL = \sum_{j=1}^n \frac{RL_j}{(1+r)^j} - \sum_{j=0}^n \frac{I_j}{(1+r)^j}$$

$$RL_j = R_j - d(O \& M)_j$$

Onde:

RL_j é a receita líquida no ano j;

I_j é o investimento no ano j;

r é a taxa de atualização;

n = vida útil do projeto;

d(O&M)_j são as despesas de operação e manutenção.

Um VAL positivo significa que os *cash-flows* gerados são superiores ao exigido – o projeto é economicamente viável onde os resultados permitem cobrir o investimento inicial, bem como a remuneração mínima exigida pelo investidor, e ainda gerar excedentes. Um VAL nulo significa que os *cash-flows* correspondem exatamente ao investimento realizado, mais o retorno exigido pelo investidor, sem gerar excedentes – a viabilidade do projeto não é garantida. Um VAL negativo significa que os *cash-flows* são insuficientes para pagar o investimento realizado e o retorno exigido pelo investidor – o projeto é economicamente inviável.

A TIR (Taxa Interna de Rentabilidade) corresponde à taxa de atualização mínima que anula o VAL (VAL=0). Deste modo, a regra de aceitação de um investimento (depois de determinado o VAL que seja positivo) segundo este indicador, implica que a TIR seja superior à taxa de referência (TIR>r). Se o TIR obtido for inferior à taxa de atualização (r) considerada no cálculo do VAL significa que a rentabilidade mínima exigida não é alcançada.

$$0 = \sum_{j=1}^n \frac{RL_j}{(1 + TIR)^j} - \sum_{j=0}^n \frac{I_j}{(1 + TIR)^j}$$

O Retorno do Investimento (ROI) representa o número de unidades monetárias que se obtêm por cada unidade de capital investido, sendo cálculo dado pela seguinte expressão:

$$ROI = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{RL_j}{(1 + r)^j}}{\sum_{j=1}^n \frac{I_j}{(1 + r)^j}}$$

Pressupostos adotados

Para o projeto em estudo é necessário ter em conta os seguintes aspetos:

- O investimento é feito maioritariamente na fase inicial (custo inicial do equipamento, licença de venda, etc...). Os custos ao longo do tempo de vida serão baixos, nomeadamente os custos de manutenção.
- O período de vida é elevado (tempo de vida do painel = 25 anos). Dependendo da solução, poderá ser necessário substituir o sistema de armazenamento (baterias).

- Num projeto fotovoltaico a energia produzida vai sofrendo uma diminuição linear progressiva devido às características técnicas dos equipamentos (o módulo vai diminuindo a eficiência bem como os restantes equipamentos).
- Ocorrem duas situações relativamente aos *outputs* deste projeto: quantificáveis (produtos efetivamente refrigerados, energia produzida e respetiva remuneração financeira) e não-quantificáveis (fator ambiental, emissão de CO2 evitada, etc.).

A **configuração 3** permite armazenar 4 caixas de *Cornetto* e 6 caixas de *Magnum*, num total de 320 gelados, como visto anteriormente. Admitindo os seguintes pressupostos:

- A margem de lucro por gelado é de **0.40€**
- Por dia vende-se $\frac{1}{2}$ da capacidade da arca frigorífica (**160** gelados), durante 6 dias por semana.
- Dois (**2**) operadores com uma remuneração mensal de **550,00€**.
- Considerou-se como vida útil do investimento o tempo de vida do módulo fotovoltaico (25 anos).
- No 12º/15º ano pode haver a necessidade de substituir as baterias (valor adotado: 400€ - valor presente; 297.86€ - valor atualizado).

Apresenta-se seguidamente as variáveis para o estudo de viabilidade:

Tabela 4.22 – Variáveis adotadas para o estudo de viabilidade económica

Variável	Valor	Nota
Investimento Inicial	7000,00€	Valor estimado
Receitas	7680,00€	Anual estimado
Despesas Manutenção	100,00€	Anual estimado
Despesas Operação	5500,00€	Anual
Taxa de Atualização	2.49%	Preços Constantes
Taxa de Juro Nominal	3%	Dados Banco Portugal
Taxa de Inflação	0.5%	Dados Banco Portugal

Seguidamente apresentam-se a tabela de cálculo relativa à viabilidade económica.

Tabela 4.23 – Cálculos das receitas e despesas, receita líquida (e atualizada) e o VAL, ao longo do tempo de vida útil do investimento.

Ano	Investimento	Receitas Brutas	Despesa O&M	Receita Líquida	Receita Líquida Atualizada	VAL
0	- 7 000,00 €			- 7 297,86 €		
1		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	2 029,51 €	- 4 970,49 €
2		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 980,25 €	- 2 990,23 €
3		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 932,19 €	- 1 058,04 €
4		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 885,29 €	827,25 €
5		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 839,53 €	2 666,78 €
6		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 794,88 €	4 461,67 €
7		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 751,32 €	6 212,99 €
8		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 708,81 €	7 921,80 €
9		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 667,34 €	9 589,13 €
10		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 626,87 €	11 216,00 €
11		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 587,38 €	12 803,38 €
12	- 297,86 €	7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 548,85 €	14 054,37 €
13		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 511,26 €	15 565,63 €
14		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 474,58 €	17 040,20 €
15		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 438,78 €	18 478,99 €
16		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 403,86 €	19 882,85 €
17		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 369,79 €	21 252,64 €
18		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 336,54 €	22 589,18 €
19		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 304,10 €	23 893,28 €
20		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 272,45 €	25 165,73 €
21		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 241,56 €	26 407,29 €
22		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 211,43 €	27 618,72 €
23		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 182,02 €	28 800,75 €
24		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 153,33 €	29 954,08 €
25		7 680,00 €	- 5 600,00 €	2 080,00 €	1 125,34 €	31 079,42 €

Tabela 4.24 – Indicadores económicos

VAL	31 079,42 €
TIR	28,45%
ROI	5,26
PRI	3 Anos 1 Mês

Pela análise dos indicadores económicos calculados verifica-se que o projeto à primeira vista é economicamente rentável. O indicador económico $VAL > 0$ permite concluir que o projeto é economicamente viável durante o tempo de vida considerado, sendo que o período de recuperação do investimento (PRI) situa-se no 1º mês do 3º ano de vida do projeto, aproximadamente 12% do período de vida estimado para o projeto. No final dos 25 anos de funcionamento estima-se que o projeto tenha um retorno positivo de 31079,42€. Comparativamente à taxa de atualização estimada (2,45%), a TIR apresenta um valor consideravelmente superior.

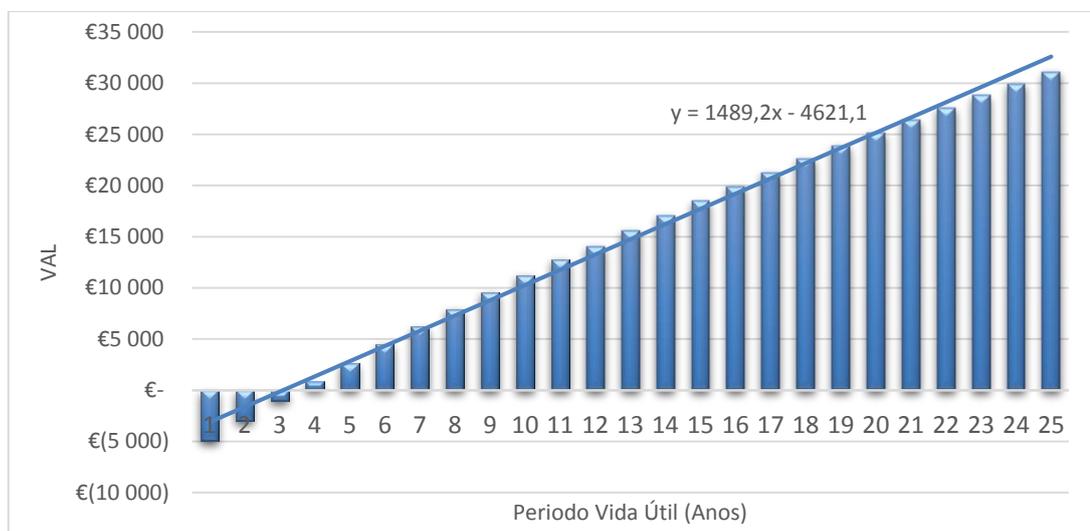


Figura 4.31 – VAL (25 anos)

4.4 Detalhes: Condições de Utilização

Neste subcapítulo apresentam-se as condições de utilização do equipamento dimensionado:

- O produto está dimensionado para trabalhar nove horas por dia, mais concretamente, no horário de radiação solar mais intensa (entre as 9-18h), durante os meses compreendidos entre Maio e Setembro.
- Para conservar a integridade e aumentar o tempo de vida útil das baterias, durante os meses de não-operação, esta deve ser conservada/armazenada com o estado de carga pleno (100%).
- A arca frigorífica selecionada tem capacidade para 4 caixas de 40 Cornettos e 6 caixas de Magnum, num total de 320 gelados.
- A reposição de produtos deve ser realizada no Horário Não-Operação para otimização de energia.
- A arca frigorífica foi projetada para ser aberta num máximo de 25 aberturas por hora.
- Periodicamente existirá necessidade de limpeza da arca frigorífica dos eventuais condensados (depósito de gelo que eventualmente se podem formar).
- As baterias não necessitam de manutenção nem ventilação.
- As baterias, carregador e controlador de carga devem ser alocados preferencialmente afastados da arca frigorífica para diminuir as transferências de calor.
- O controlador de carga deve ser colocado nas proximidades da bateria de modo a que este possa medir/controlar a temperatura da bateria (caso não seja possível deve ser conectado um sensor externo de temperatura).
- Dependendo do controlador de carga escolhido, poderá ser necessário ventilação ou não (no caso da solução 2, o controlador Steca PR1515).
- Para as soluções que possuem duas (2) baterias, estas devem estar separadas por uma distância mínima (indicado pelo fabricante).
- Para maximização de energia nos dias desfavoráveis (dias de pouca insolação), o veículo deve ser exposto o maior tempo possível aos raios solares.
- Aquando da paragem do veículo, devem ser evitados sombreamentos.
- Periodicamente a superfície do módulo deve ser limpa para remover sujidade e assim aumentar a produção de energia.

4.5 Conceção da Estrutura (Chassi)

Relativamente ao desenvolvimento da estrutura do chassi, esta foi pouco aprofundada devido à extensão do projeto, referido no início desta dissertação. Prevê-se que como trabalhos futuros, este veículo possa ser adotado para um veículo híbrido de 3-rodas²² (bicicleta elétrica). Assim, este subcapítulo tem o intuito de dar um contributo informativo na medida em que foi realizada uma pesquisa relativamente à configuração dos chassis de veículos de 3-rodas e suspensões.

Relativamente à configuração do chassi, destacaram-se os chassis de 3-rodas devido ao facto de estes estarem muitas vezes associados à ideia de veículos mais pequenos e energeticamente eficientes (Riley & Foale, 2014). Para esta ideia contribui o facto de estes veículos serem geralmente mais leves (chassis simplificados e de menor massa), o que requer uma potência menor para a locomoção. Os defensores destes veículos geralmente apontam argumentos como: chassis simplificados que traduzem menores custos de produção e características de comportamento dinâmico superiores (viragem); já os opositores apontam que estes veículos são mais propensos ao capotamento que os veículos de quatro rodas. Ambas as opiniões tem valor e é verdade que os veículos de 3 rodas são mais leves e tem menos custos de produção, no entanto, quando incorretamente dimensionados ou usados na aplicação errada, o uso de uma configuração de 3-rodas pode ser desastrosa. No entanto, cuidadosamente dimensionada e aplicada, a configuração 3 rodas pode trazer resultados superiores aos veículos de 4 rodas.

Deste modo apresenta-se alguns pontos acerca dos chassis para veículos de 3-rodas:

- Os chassis são mais leves, simples e baratos – menores custos de produção.
- Características de comportamento dinâmico superiores quando corretamente dimensionados.
- Configuração *reverse-trike (Tadpole)* apresenta vantagens comparativamente à *regular trike (Delta)* tanto em comportamento dinâmico como aerodinâmico.
- Localização do centro de massa deve ser o mais baixo possível (para um 3-rodas aconselha-se 2/3 do peso nas rodas paralelas e 1/3 para a roda solitária) para aumentar a segurança contra o capotamento em curva (Prof. Starr, 2006).

²² Também chamado de “3-Wheeler”

- Estabilidade: quanto maior a largura do veículo maior será a sua estabilidade em curva, e quanto maior a sua altura, menor a sua estabilidade, assim, é necessário realizar um compromisso entre largura-altura- comprimento de modo a garantir uma boa estabilidade. Definiu-se como largura 1,3 metros (medida comum para atrelados mini-reboques) sendo posteriormente calculado o comprimento. A altura é uma especificação do projeto e deve ser cerca de 2m.

Informação mais detalhada pode ser consultada no Anexo VII.

Concebeu-se um possível chassi (apresentado na Figura 4.32) onde se procurou obedecer aos pontos anteriormente apresentados. Relativamente às proporções entre largura-comprimento utilizou-se a “proporção áurea” que é uma constante real algébrica irracional ($\Phi = 1.618\dots$) muito utilizada no *design*, na arte e já foi inclusive utilizada na indústria automobilística (por exemplo, o *Aston Martin DB5 Rapide S*). Esta proporção é bastante curiosa pois pode ser encontrada em muitos casos práticos da natureza (inclusive no corpo humano) e está relacionada com o conceito de atratividade visual²³.

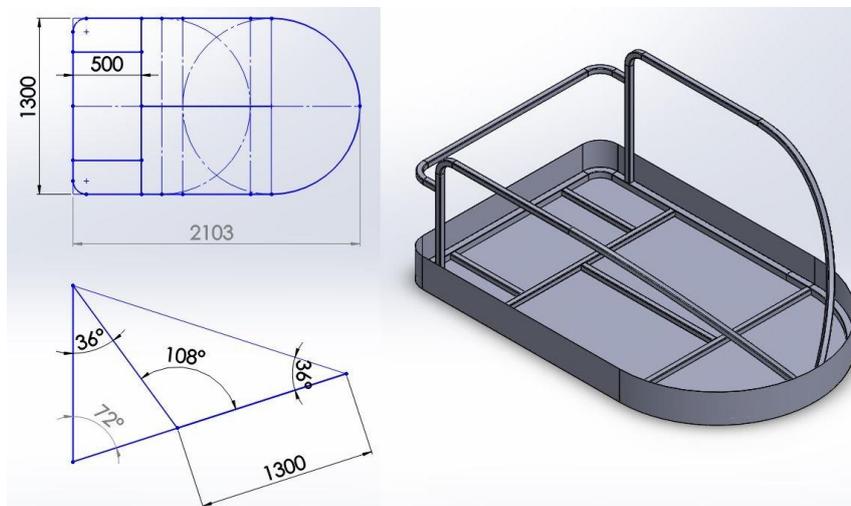


Figura 4.32 – Esboço do chassi.

²³ Embora a comunidade científica no geral seja cética em relação a esta proporção, o facto é que ela está presente num incontável número de situações (sequência de *Fibonacci*), nomeadamente, figuras e sólidos geométricos ‘perfeitos’, estrutura óssea de animais, nas plantas, na arte, na música, a formação de tempestades-furacões, etc.

Relativamente ao posicionamento do painel fotovoltaico, a solução mais vantajosa será a sua colocação na zona superior por forma a maximizar a exposição solar do painel aos raios solares (exemplificado na Figura 4.33):



Figura 4.33 – Exemplo da colocação do painel fotovoltaico.

Suspensões

O veículo possuirá suspensões independentes porque estas apresentam vantagens em termo de conforto (as suspensões atuam isoladamente), ou seja, serão mais adequadas para manter a integridade do produto (gelados ou bebidas).

Tanto as *Macpherson* como as *Double Wishbone* são adequadas para esta solução, no entanto, para esta aplicação destacam-se as *MacPherson* pois são mais simples, baratas e compactas, ocupando menor espaço horizontal (mantendo uma menor largura do veículo).

Capítulo 5. Conclusão e Sugestões para Trabalhos Futuros

5.1 Conclusão

Atendendo ao facto de que os níveis de radiação se mantêm mais ou menos constantes de ano para ano, a análise energética realizada para as localidades de Porto, Lisboa e Faro, nos meses compreendidos entre Maio e Setembro, permite concluir que o módulo fotovoltaico da *Globalsun* (255W) irá gerar energia suficiente para colmatar os gastos energéticos de uma arca frigorífica com as características estipuladas (consumo estimado de 848 Wh), durante as nove (9) horas de funcionamento para um dia típico. A aplicação desta tecnologia permitirá poupar cerca de 37.5% da energia que iria ser gasta para a refrigeração dos produtos.

No entanto, existe a questão do envelhecimento do módulo fotovoltaico (perda 0.8% rendimento ao ano). Para este caso, o módulo *Globalsun* conseguirá alimentar a arca para todos os meses em estudo, durante os 25 anos de vida útil do projeto, com exceção do mês de Setembro. Para este mês, o módulo apenas conseguirá alimentar os primeiros 10 anos de utilização para a região do Porto, 22 anos para a região de Lisboa, e para 23 anos para a região de Faro. Apesar disso, para o 25º ano, a poupança de energia da arca ainda será de 33%, 36% e 37%, respetivamente, para Porto, Lisboa e Faro.

Relativamente ao consumo da arca frigorífica, devido à complexidade dos cálculos inerentes aos ganhos térmicos, somente por via experimental será possível obter valor real de consumo, não obstante, o consumo não deverá diferir muito do valor obtido.

O estudo energético realizado resultou na conceção de cinco (5) soluções possíveis para o sistema de alimentação solar. As soluções 1.1, 1.2, 1.3 (12V) e a solução 2 (24V) são bastantes similares a nível de custo e as baterias apresentam uma vida útil entre 12-15 anos. Tal facto significa que, no período de vida útil do projeto, o sistema de armazenamento terá de ser

substituído uma vez. Já a solução 3, apesar do investimento inicial ser consideravelmente superior (quase o dobro), apresenta uma duração estimada de 25 anos, isto é, a mesma duração do tempo de vida útil do projeto. Relativamente ao peso das soluções, a solução 3 é a mais leve cerca de 54-43 kg comparativamente às restantes soluções.

As avaliações das soluções realizadas pelo “método dos objetivos ponderados”, apesar de possuírem um carácter subjetivo, na medida em que os critérios escolhidos e o peso relativo destes podem variar consoante a preferência da empresa, proporcionam um indicador que não deverá ser ignorado. Em ambas as avaliações, a solução número 3 com bateria de Lítio foi a solução com maior “pontuação global de utilidade”.

Um facto conhecido é que o mercado relacionado com as baterias de Lítio está a crescer rapidamente, traduzindo-se numa redução progressiva dos seus custos, apresentando-se estas como o candidato mais provável ao armazenamento de energia na próxima década.

Devido aos factos apresentados, a solução 3 parece ser uma mais-valia tecnológica pois a bateria de Lítio possui características técnicas bastante superiores às baterias chumbo-ácido VRLA, nomeadamente, vida útil, peso, dimensões, rendimento e regimes de descarga, aliado ao facto dos preços estarem a decrescer consideravelmente.

Relativamente à análise de viabilidade económica, pelo facto das variáveis terem sido estimadas, pode existir um erro associado algo elevado, como tal esta análise deve ser tida em conta mas não deverá ser decisiva para o investidor, carecendo de uma análise mais profunda, nomeadamente, os custos totais que o veículo terá (para este caso considerou-se um investimento inicial de 7000€, mais a eventual substituição das baterias a cerca de metade do tempo de vida do projeto, sendo estes valores atualizados relativamente à taxa calculada). De realçar que apesar de o tempo de vida útil do investimento ser de 25 anos, existe forte probabilidade de o veículo não ser utilizado durante 25 anos, assim é importante que o retorno do investimento seja breve, i.e., que tenha um retorno de investimento relativamente curto.

As principais variáveis estimadas foram a taxa de atualização, a quantidade de gelados vendidos por dia (1/2 da capacidade da arca frigorífica) e a margem de lucro por gelado (0.40€) e as despesas de operação e manutenção. A determinação dos indicadores económicos nomeadamente o VAL indica que o projeto do veículo à primeira vista será economicamente viável durante o tempo de vida do investimento (25 anos), sendo que, obtém-se um retorno do investimento no 4º ano, ou seja, aproximadamente a 12% do período de vida estimado para o projeto. No final dos 25 anos de funcionamento estima-se que o projeto tenha um retorno

financeiro positivo de 31079€ para uma taxa de inflação de 0.5% (dados do boletim económico do banco de Portugal) e uma taxa de atualização de 2,49%.

A utilização de sistemas fotovoltaicos autónomos, apesar dos seus custos iniciais serem relativamente elevados quando comparados com outras tecnologias, tem forte tendência a decrescer nos próximos anos devido ao forte incentivo que existe atualmente, apresentando-se como uma fonte de rendimento viável.

Mais importante que o proveito económico é o benefício ambiental promovido pela redução da emissão de gases efeito de estufa, além de que, dum ponto de vista empresarial, as empresas ecologicamente corretas que apostam na preservação do meio ambiente, tem ganho uma vantagem competitiva comparativamente a outras que não o são. Aliado a este contributo para o meio ambiente, a instalação de uma solução fotovoltaica contribui para a redução da dependência energética, sendo ainda impulsionada uma indústria que cria e acrescenta valor à sociedade.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Como sugestões para trabalhos futuros é necessário conceber a estrutura do carro e estudar o comportamento dinâmico do veículo. Sugere-se que o veículo a conceber seja um veículo híbrido (bicicleta elétrica) de 3-rodas com 2 bancos de baterias: um para alimentar a arca congeladora durante o dia (a energia produzida pelo módulo fotovoltaico alimentará o as baterias que irão alimentar a arca frigorífica); outro para alimentar o motor de auxílio à tração da bicicleta. Durante as horas de não-operação (noite) o veículo seria ligado à rede elétrica de modo carregar ambas as baterias, colmatando a eventual energia consumida pelo veículo durante o dia. Outra opção seria equipar a arca congeladora com um sistema de refrigeração eutético. Assim a energia proveniente do painel fotovoltaico alimentaria o motor para ajuda à tração e as placas eutéticas seriam refrigeradas nas horas de não-operação, ligadas à corrente elétrica.

Com vista a facilidade de personalização deste veículo, aliada à sua autonomia e mobilidade, este produto poderá tornar-se atrativo para diversas empresas e marcas de refrigerantes e de gelados. Deste modo, a criação de *design* facilmente personalizável e/ou fácil substituição seria um fator atrativo para as empresas/marcas devido à sua versatilidade (por exemplo, durante as

horas de maior insulação venderia gelados, e ao início da noite promoveria uma marca de bebidas).

Para o caso de abertura da câmara horizontal, a complexidade do escoamento de ar e o cálculo dos ganhos térmicos aumenta ainda mais. Ao longo dos anos alguns estudos foram realizados para tentar explicar melhor como se processa este tipo de escoamento e como calcular as trocas de massa de ar e de energia térmica. Existe alguma discrepância entre os modelos de escala e as simulações CFD, carecendo este campo do conhecimento de estudos mais aprofundados. Assim existe a necessidade da validação do consumo real da arca frigorífica. Deste modo sugere-se a possibilidade de dimensionamento de uma arca frigorífica energeticamente mais eficiente uma vez que a refrigeração é um sector que consome enormes quantidades de energia²⁴. Embora nesta dissertação não tenham sido considerados, os ganhos térmicos por radiação podem constituir uma parcela importante nos ganhos totais do sistema, visto que o veículo estará exposto à radiação solar por forma a produzir energia. Assim é importante complementar o estudo dos ganhos térmicos com este tipo de ganho térmico.

Pelo facto de ser necessário um dispositivo para programar/ajustar as tensões do controlador de carga e outro dispositivo para visualizar os parâmetros de funcionamento, sugere-se conceção de um painel de controlo/instrumentos que permite ajustar estes valores (consoante as especificações de cada bateria) e que apresente compiladas as informações relativas ao Estado de Carga, tempo de utilização, tempo de autonomia restante, temperatura das baterias, etc.

²⁴ A título de curiosidade, o isolamento por vácuo tem ganho destaque nos últimos anos (utilizado em garrafas térmicas) pois proporciona vantagens a nível de espaço e poupanças de energia.

Relativamente a detalhes/recomendações destacam-se:

- A arca frigorífica a escolher deve possuir tolerância a vibrações i.e., o isolamento e os restantes subequipamentos (condensador, termostato, etc.) devem suportar vibrações derivadas da aplicação ser móvel.
- A substituição do módulo fotovoltaico Policristalino por um módulo Monocristalino irá trazer aumentos de energia produzida.
- Pelo facto do veículo poder funcionar em zonas costeiras, as juntas, dobradiças, trincos, superfícies e outros materiais devem estar especialmente protegidos contra a corrosão típica dos ambientes marítimos (salitre) e contra partículas que se possam infiltrar (areias).
- A pintura do veículo deverá ter uma capacidade para reflexão da radiação solar de modo a diminuir a temperatura geral deste.

Capítulo 6. Bibliografia

- AGM Sealed*. (2015). Obtido de SUER Batteries: <http://suerbattery.com/product-2-1-agm-sealed-motorcycle-battery-en/138214>
- Albright, G., Edie, J., & Al-Hallaj, S. (2015). *A Comparasion of Lead Acid to Lithium-ion in Stationary Storage Applications*. Obtido de altenergymag: http://www.altenergymag.com/content.php?post_type=1884#_ftn1
- All About Circuits . (2015). *Textbook Vol. 1, Cap.11 - Batteries And Power Systems (Pratical Considerations)*. Obtido de All About Circuits: <http://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-11/practical-considerations-batteries/>
- ALTENER; Comissão Europeia. (2004). *Energia Fotovoltaica - Manual Tecnologias, Projectos e Instalações* (Vol. III).
- ASHRAE. (1998). *HouseHold Refrigerators and Freezers, Chapter 49* (Vol. IV).
- ASHRAE. (2002). *Refrigeration Load*.
- ASHRAE. (2006). *Thermal Properties of Foods*.
- BAE OPzS Block*. (2015). Obtido de BAE USA Batteries: http://www.baebatteriesusa.com/products/opzs_block.shtml
- BatteryStuff. (2015). *Gel vs AGM: Not Quite the Battle of the Ages, But Nice to Know*. Obtido de Battery Stuff: <http://www.batterystuff.com/kb/articles/battery-articles/gel-vs-agm.html>
- Beetz, B. (20 de Maio de 2015). *Lithium-ion battery costs tipped to fall to \$172/kWh*. Obtido de Reneweconomy - Tracking the next industrial revolution (PV Magazine): <http://reneweconomy.com.au/2015/lithium-ion-battery-costs-tipped-to-fall-to-us172kwh-90283>
- Blay, D., Tuhulut, J. L., & Pinard, S. (1998). Heat Transfer through a Horizontal Aperture Connecting Two Non Isothermal Rooms. *Roomvent'98*. Stockholm.
- Blomqvist, C. (2009). *Distribution of Ventilation Air And Heat by Buoyancy Forces Inside Buildings - An Experimental Study*. Tese de Doutoramento PhD, University of Gävle, Sweden.
- Blomqvist, C., & Sandberg, M. (2004). Air Movements through Horizontal Openings in Buildings - A Model Study. *International Journal of Ventilation*, 3.

- Carneiro, J. (2010). *Semicondutores - Modelo Matemático da Célula Fotovoltaica*. Universidade do Minho.
- Castro, R. (2002). *Introdução à Energia Fotovoltaica*. Instituto Superior Técnico. UTL.
- Chagas, M. (2007). *Novas Tecnologias para Avaliação de Baterias*. Curitiba.
- Clube da Refrigeração. (11 de Setembro de 2014). *Fluidos Refrigerantes*. Obtido de <http://www.clubedarefrigeracao.com.br/downloads/fluidos-refrigerantes>
- DGEG. (Outubro de 2014). *Renováveis - Estatísticas rápidas nº111*. Direcção Geral de Energia e Geologia. Obtido de http://www.apisolar.pt/images/stories/dgeg_estatisticas_rapidas_jul14.pdf
- Diário de Notícias. (Outubro de 2009). *DN - Bolsa*. Obtido de Diário de Notícias: <http://www.dn.pt/bolsa/interior/50-anos-a-refrescar-os-portugueses-1400696.html>
- Emanuel, F. M. (2009). *Módulo fotovoltaico com seguimento da posição solar*. Lisboa: FCT - UNL. Obtido de <http://run.unl.pt/handle/10362/2300>
- Energia Solar*. (2015). Obtido de Eléctronia.
- Ethier, P. M. (2015). *Simple Visual analysis of 3-Wheeler Stability*. Obtido de Cégep de Lévis Lauzon - Quebec; Canada: <http://cfl.qc.ca/Professeurs/Mecanique/ethierp/3-wheels/stabil1.htm>
- IEA. (2015). *Technology Roadmap - Solar Photovoltaic Energy*. International Energy Agency. Obtido de https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf
- IET. (2015). *Joint Research Center (Institute for Energy and Transport)*. Obtido de European Commission: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/countries/europe.htm>
- ILSE. (s.d.). *Institute of Electrical Power Engineering, Renewable Energy Section*. Obtido de Technical University of Berlin.
- Iqbal, M. (1983). *An Introduction To Solar Radiation*. Canada: Academic Press.
- JRC - IET. (28 de Outubro de 2015). *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*. Obtido de Joint Research Center - Institute for Energy and Transport (IET): <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- Kalogirou, S. A. (2014). *Solar Energy Engineering: Processes and Systems* (2ª ed.). Academic Press; Elsevier. Obtido de <https://books.google.pt/books?id=ABNsPshKebwC&lpg=PR4&hl=pt-PT&pg=PR4#v=onepage&q=advantages&f=false>
- King, D. (8 de Outubro de 2015). *Gm says li-ion battery cost per kWh already down to \$145*. Obtido de AutoBlog: <http://www.autoblog.com/2015/10/08/gm-li-ion-battery-cost-per-kwh-already-down-to-145/>
- Lawson, B. (2015). *Electropaedia - Battery Chargers and Charging Methods*. Obtido de mpoweruk: <http://www.mpoweruk.com/chargers.htm>

- Li, Z. (2007). *Characteristics of Buoyancy Driven Natural Ventilation through Horizontal Openings*. PhD, Aalborg University, Department of Civil Engineering, Denmark.
- Lobarinhas, P. (2015). Apontamentos da Unidade Curricular de Frio Industrial.
- Milliken, W. F., & Milliken, D. L. (1995). *Race Car Vehicle Dynamics*. Warrendale: SAE International.
- Morris, N. (28 de Maio de 2014). *Lithium What? Know your Lithium Ion battery technologies*. Obtido de Solar Choice - Batteries & Energy Storage : <http://www.solarchoice.net.au/blog/lithium-what-know-your-lithium-ion-battery-technologies>
- mpoweruk. (2015). *Cell Balancing/Battery Management System*. Obtido de MpowerUK: <http://www.mpoweruk.com/bms.htm> & <http://www.mpoweruk.com/balancing.htm>
- Overstraeten, R. W., & Mertens, R. P. (1996). *Physics, technology and use of photovoltaic*. Londres: Modern Energy Studies.
- Photovoltaic Cell I-V Characterization*. (2015). Obtido de National Instruments: <http://www.ni.com/white-paper/7230/en/>
- Portal Energia*. (2015). Obtido de www.portal-energia.com.
- Prof. Starr, P. J. (2006). *Designing Stable Three Wheeled Vehicles With Application to Solar Powered Racing Cars*. Universidade of Minnesota, Departamento de Engenharia Mecânica, Minnesota. Obtido de http://americansolarchallenge.org/ASC/wp-content/uploads/2013/01/Dr_Starr_Stability_Paper_-_Rev_20060811.pdf
- Richmond, R. (Março de 2013). *Lithium-Ion Batteries for Off-Grid Systems*. Obtido de Home Power: <http://www.homepower.com/articles/solar-electricity/equipment-products/lithium-ion-batteries-grid-systems?v=print>
- Riley, R. Q., & Foale, T. (Setembro de 2014). *Dynamic Stability of Three-Wheeled Vehicles*. Obtido de Robert Q. Riley Enterprises - Product Design and Development: <http://www.rqriley.com/3-wheel.htm>
- Rodriguez, J. (28 de Setembro de 2015). *Battery Energy Storage Cost Comparisons*. Obtido de Solar Choice : <http://www.solarchoice.net.au/blog/battery-energy-storage-cost-comparisons>
- Rolls Support. (2014). *AGM Charging*. Obtido de Rolls - Technical Support Desk: <http://support.rollsbattery.com/support/solutions/articles/4345-agm-charging>
- Rusch, W., Vassalo, K., & Hart, G. (2006). Flooded (VLA), Sealed (VRLA), GEL, AGM Type, Flat Plate, Tubular Plate: The When, Where, and Why. *BATTCON: International Stationary Battery Conference*.
- SECOP. (Junho de 2012). *Solar Panel Powered - BD Compressors*. Obtido de SECOP: http://www.secop.com/fileadmin/user_data/pdfs/guidelines/application_note_bd_solar_06-2012_desa100c102.pdf
- SECOP. (2012). *Solar Panel Powered BD Compressors*. Alemanha: SECOP GmbH.

- Seguel, J. (2009). *Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.
- SEIAPI. (2012). *Off Grid PV Power Systems - System Design Guidelines*. Pacific Power Association (PPA). Obtido de https://irena.org/DocumentDownloads/events/2013/March/Palau/8_OffGrid_DesignGuidelines.pdf
- Silva, L. F. (2013). *Apontamentos da Unidade Curricular de Teoria de Projeto Mecânico*. Solar Energy International. (2004). *Photovoltaics: Design and Installation Manual*. Obtido de <https://books.google.pt/books?id=ABNsPshKebwC&printsec=frontcover&hl=pt-PT#v=onepage&q=advantages&f=false>
- Steca Elektronik. (2015). *Steca PF 166/PF 240 - Solar refrigerator/freezer*. Obtido de Steca Elektronik: <http://www.steca.com/index.php?Steca-PF-166-240-en>
- Stoecker, W. (1998). *Industrial Refrigeration Handbook; Capítulo 18*. McGraw Hill Professional.
- Susana, F. (2008). *Dimensionamento desistemas fotovoltaicos*. Universidade Politécnica de Bragança.
- The Renewable Energy Website*. (Junho de 2015). Obtido de <http://www.reuk.co.uk/Solar-Declination.htm>.
- The Star Online. (19 de Junho de 2005). *Arquivos - Oversteer & Understeer*. Obtido de The Star Online: <http://www.thestar.com.my/story/?file=%2F2005%2F6%2F19%2Ffeatures%2F11210746&sec=features>
- Trindade, M., Martins, J., & Afonso, J. (2005). Sistema para Optimização da Extração de Energia de Painéis Solares Fotovoltaicos. *ENER'05 - Conferência sobre Energias Renováveis e Ambiente em Portugal*. Figueira da Foz. Obtido de https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/3036/1/ENER-05_solar.pdf
- UNIPOWER. (2015). *Manual Técnico UNIPOWER - VRLA Battery*. UNICOBA.
- Valsera-Naranjo, E., & et al. (2009). Electrical vehicles: State of art and issues for their connection to the network. *10th International Conference EPQU - Electrical Power Quality and Utilisaton*, (pp. 1-3).
- VEECO. (2015). *Chassi VEECO RT*. Obtido de VEECO: http://www.veeco.pt/veeco_006.htm
- Vera, L. H. (2004). *Programa Computacional Para Dimensionamento e Simulação de Sistemas Fotovoltaicos Autônomos*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Victron Energy. (28 de Março de 2014). *Matching solar modules to MPPT charge controllers*. Obtido de Victron Energy: <http://www.victronenergy.com/blog/2014/03/28/matching-victron-energy-solar-modules-to-the-new-mppt-charge-regulators/>
- Victron Energy. (13 de Março de 2015). *Batteries: Lithium-ion vs AGM*. Obtido de Victron Energy: <http://www.victronenergy.com/blog/2015/03/30/batteries-lithium-ion-vs-agm/>

- Victron Energy. (2015). *Changing settings in the BlueSolar MPPT Charge Controllers*. Obtido de Victron Energy - Blue Power: <http://www.victronenergy.com/live/ve.direct:mpptprefs>
- Victron, E. (28 de June de 2014). *Which solar charge controller: PWM or MPPT?* Obtido de Victron Energy: <http://www.victronenergy.com/upload/documents/White-paper-Which-solar-charge-controller-PWM-or-MPPT.pdf>
- William B. Stine, M. G. (2001). *The Power Of The Sun*.
- YouWheel. (16 de Junho de 2014). *Automobile Suspension Design 101 (Part IV): MacPherson Strut Suspension*. Obtido de YouWheel: <http://blogs.youwheel.com/2014/06/16/automobile-suspension-design-101-part-iv-macpherson-strut-suspension/>

Anexos

Anexo I – Aspectos acerca de Baterias

Anexo II – Modelo Matemático da Célula Fotovoltaica

Anexo III – Cálculo de Energia Produzida/ Rendimento

Anexo IV – Catálogos

Anexo V – Orçamento das Soluções

Anexo VI – Avaliação Soluções: Método dos Objetivos Ponderados

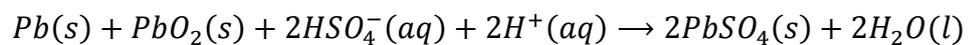
Anexo VII – Conceitos acerca de Dinâmica de Veículos *3-Wheelers*

Anexo I – Aspectos acerca de Baterias

Baterias Chumbo-ácido

Os componentes principais de uma bateria do tipo chumbo-ácido são:

- Placas positivas (cátodo) e negativas (ânodo): conjunto constituído pela grade e material ativo (Chumbo). Entre as placas são colocados separadores microporosos. O material ativo permite a ocorrência dos processos de oxirredução (descarga e carga da bateria) criando assim circulação de corrente elétrica.
- Eletrólito: composto por uma solução de ácido sulfúrico diluído em água deionizada. Durante a descarga a densidade do eletrólito diminui de acordo com a reação química que acontece entre o eletrólito e as placas, formando sulfato de chumbo. Durante a carga acontece o processo inverso.



- Separadores: colocado entre as placas para isolar as placas e evitar curto-circuitos.
- Recipiente: geralmente fabricadas em polipropileno transparente (estacionárias). Geralmente as tampas são de material termoplástico, recebendo válvulas para deixar escapar eventuais gases (mas nunca ácido sulfúrico).



A1 I - Constituição de uma bateria Chumbo-ácido comum (Chagas, 2007)

Baterias de Iões de Lítio

Existem vários tipos de materiais ativos com base em iões de lítio (composições químicas diferentes) que variam consoante o tipo de aplicação:

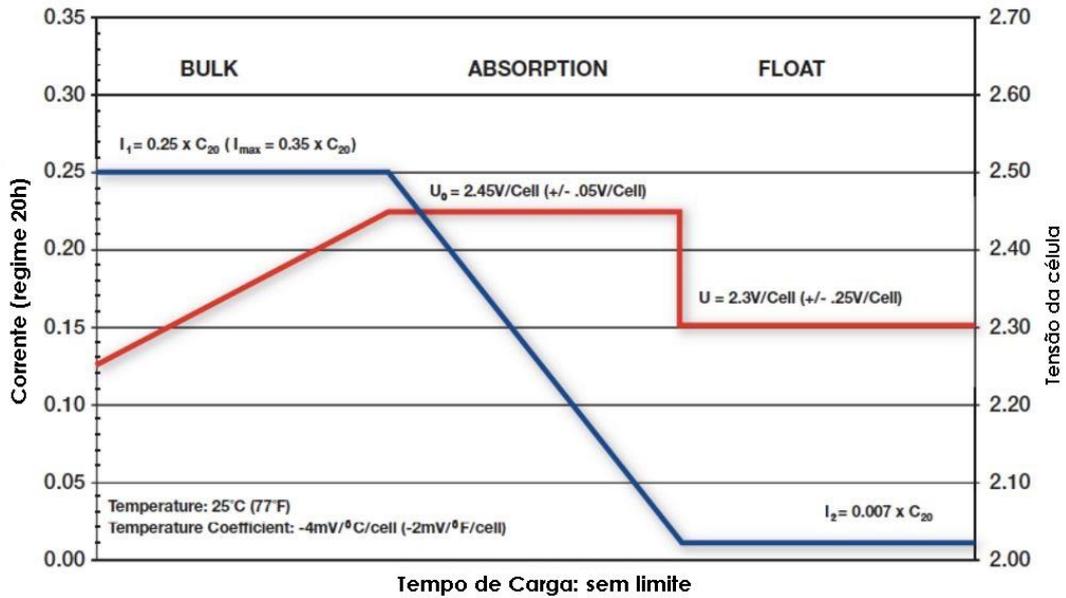
Tabela A1 - Tecnologias das baterias de Lítio, adaptado de (Richmond, 2013)

<i>Chemical Name</i>	<i>Material</i>	<i>Abbreviation</i>	<i>Applications</i>
<i>Lithium cobalto</i>	LiCoO_2	LCO	<i>Cell phones, laptops, cameras</i>
<i>Lithium manganese oxide</i>	LiMn_2O_4	LMO	<i>Power tools, EV's, medical</i>
<i>Lithium iron phosphate</i>	LiFePO_4	LFP	<i>Power tools, EV's, medical, grid storage</i>
<i>Lithium nickel manganese cobalto oxide</i>	LiNiMnCoO_2	NMC	<i>Power tools, EV's, medical</i>
<i>Lithium nickel cobalto aluminum oxide</i>	LiNiCoAlO_2	NCA	<i>EV's, grid storage</i>
<i>Lithium titanate</i>	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	LTO	<i>EV's, grid storage</i>

Os formatos típicos para as baterias lítio são o *pouch* (formato “achatado”, e.g., telemóveis), o cilíndrico (utilizado em equipamentos para média potência, e.g., ferramentas elétricas) e o prismático (formato de maiores dimensões utilizado, por exemplo, em veículos elétricos). O formato que tem vindo a ser utilizado como substituto das baterias de chumbo-ácido para sistemas fotovoltaicos *off-grid* é do tipo prismático com material ativo de lítio fosfato de ferro (LiFePO_4 – denominado “LFP”).

Método de Carregamento de Baterias

As baterias de Chumbo-ácido são carregadas por um método de três (3) fases de carga distintos de modo a otimizar o tempo de vida útil. A primeira fase (*Bulk stage*) carrega as baterias com corrente constante até se obter um certo valor de tensão, geralmente correspondente a 70/80% do Estado de carga; a segunda fase (*Absorption stage*) mantém a tensão constante e diminui a corrente, carregando os restantes 29/19%; a terceira fase (*Float stage*) aplica uma tensão e corrente constantes de modo estabilizar as reações químicas da bateria, carregando os restantes 1% (Lawson, 2015).

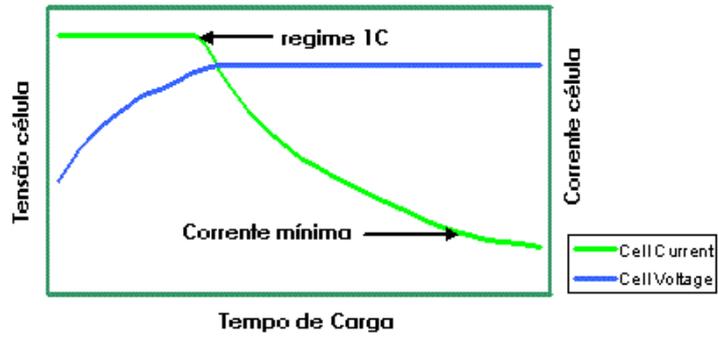


A1 II - Característica de carga das baterias *Rolls AGM* (Rolls Support, 2014).

O aumento da temperatura ambiente aumenta a reação química dentro da bateria. Para este caso, a tensão de carregamento deve ser reduzida para prevenir sobrecarga, inversamente, quando temperatura diminui, a tensão de carga deve ser aumentada. Para otimização da vida útil da bateria, deve-se escolher um carregador com compensação de temperatura. O sensor de temperatura deverá monitorizar apenas a temperatura da bateria sem interferência de outros equipamentos geradores de calor (UNIPOWER, 2015).

Relativamente às baterias de íões de lítio, estas devem ser carregadas por método de duas (2) fases (*CC-CV*), primeiro aplicando uma corrente constante durante grande parte do carregamento, seguido de tensão constante. A fase final de carregamento (tensão constante) permite evitar que a bateria ultrapasse a tensão máxima permitida o qual pode danificar seriamente a bateria (as células de Lítio são bastante sensíveis a sobrecargas).

Perfil de carga baterias Iões de Lítio

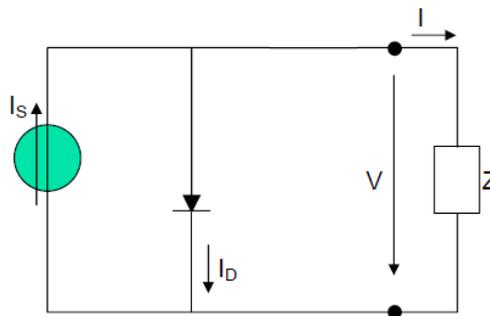


A1 III - Característica de carga para as baterias de lítio (Lawson, 2015).

Anexo II – Modelo Matemático da Célula Fotovoltaica

Modelo simplificado equivalente

Para se poder analisar pormenorizadamente o comportamento de um sistema elétrico de energia fotovoltaica é necessário que sejam desenvolvidos modelos matemáticos para os componentes constituintes do sistema. Uma célula pode ser descrita através do circuito elétrico equivalente simplificado representado na Figura A2 - I (Castro, 2002):



A2 I - Modelo simplificado equivalente de uma célula fotovoltaica

A corrente (I_s) representa a energia elétrica gerada na célula fotovoltaica devido à incidência de radiação solar. Esta corrente é constante para uma dada radiação incidente. A junção $p-n$ funciona como um diodo que é atravessado por uma corrente interna unidirecional (I_D) que depende da tensão V nos terminais da célula.

A corrente (I_D) que atravessa o diodo é dada pela equação:

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right)$$

Em que,

I_0 : corrente inversa máxima de saturação do diodo

V : tensão entre os terminais da célula

m : fator de idealidade do diodo (diodo ideal: $m=1$; diodo real: $m > 1$)

V_T : designado por potencial elétrico $V_T = \frac{KT}{q}$ ²⁵

²⁵ Para $T = 298.15\text{K}$ (25°C), obtém-se $V_T = 25.7\text{mV}$

Dois pontos de operação da célula merecem particular atenção:

Curto-circuito exterior

Neste caso:

$$V=0$$

$$I_0 = 0$$

$$I = I_s = I_{sc}$$

I_{sc} (corrente curto- circuito) é o valor máximo da corrente de carga, igual à corrente gerada pelo efeito fotovoltaico. O seu valor é uma característica da célula, sendo um dado fornecido pelo fabricante para determinadas condições de radiação incidente e temperatura.

Circuito aberto

Neste caso:

$$I=0$$

$$V_{oc} = m \cdot V_T \cdot \ln \left(1 + \frac{I_s}{I_0} \right)$$

V_{oc} (tensão em vazio) é o valor máximo da tensão aos terminais da célula, que ocorre quando está em vazio (circuito está aberto). O seu valor é uma característica da célula, sendo um dado fornecido pelo fabricante para determinadas condições de radiação e temperatura.

Desta forma, I_0 é calculado recorrendo às condições de fronteira conhecidas (curto-circuito e circuito aberto). Da equação 2.4 retira-se que:

$$I_0 = \frac{I_{sc}}{e^{\frac{m \cdot V_T}{V_{oc}}} - 1}$$

Desenvolvimento do modelo

Disponíveis apenas os valores de V_{oc}^r , I_{sc}^r e P_{max}^r o modelo é desenvolvido segundo (Castro, 2002). Deste modo utilizam-se as equações seguintes as quais possibilitam a obtenção das curvas características IV:

$$I = I_{sc}^r \left(1 - e^{-\frac{V - V_{oc}^r}{m \cdot V_T^r}} \right)$$
$$m = \frac{V_{max} - V_{oc}}{V_T^r \cdot \ln \left(1 - \frac{I_{max}}{I_{sc}} \right)}$$

Para temperatura STC (25°C) e radiação incidente variável vem:

$$I = I_{sc} \cdot \left(\frac{G'}{G^r} \right) - I_0^r \left(e^{\frac{V}{m \cdot V_T^r}} - 1 \right)$$

Para radiação incidente STC (1000 W/m²) e temperatura variável vem respetivamente:

$$I_0(T) = I_0^r \left(\frac{T}{T^r} \right)^3 \cdot e^{\frac{\varepsilon}{m} \left(\frac{1}{V_T^r} - \frac{1}{V_T} \right)}$$
$$I = I_{sc} - I_0(T) \cdot \left(e^{\frac{V}{m \cdot V_T^r}} - 1 \right)$$

A potência elétrica de saída da célula fotovoltaica é dado pelo produto entre a tensão e corrente de saída para uma dada condição (radiação e temperatura do módulo) e é obtida pela seguinte equação:

$$P = V \cdot I = V \left[I_{sc} - \left(I_0 \left(e^{\frac{V}{m \cdot V_T}} - 1 \right) \right) \right] \quad (2.11)$$

Anexo III – Cálculo de Energia produzida/ Rendimento

Cálculo aproximado da Energia produzida para um intervalo de 15min (dados do pvgis)

De modo a calcular a área aproximada entre cada intervalo de valores, utilizou-se uma “regra dos trapézios” segundo a equação seguinte:

$$E = \left(\frac{P_n + P_{n+1}}{2} \right) \times \Delta t$$

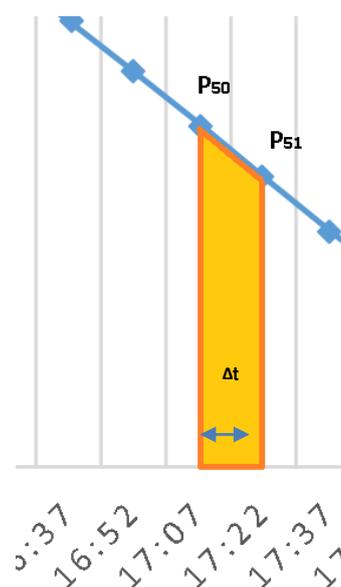
Onde,

E: energia produzida (Wh)

P_{n,n+1}: potência instantânea em determinado momento (W)

Δt: período de tempo de 15min (0,25 horas)

Aplicando este procedimento para todos os dias de um determinado mês, é possível obter a energia diária produzida (estimada) por cada módulo fotovoltaico (horizontal e 2-axis) para os diferentes meses do ano.



A3 I – Exemplo da regra dos trapézios simplificada

Cálculo do Rendimento Global médio

	RELATIVAMENTE À PRODUÇÃO NO HORÁRIO OPERAÇÃO					
Mês	Porto Wh	η	Lisboa Wh	η	Faro	η
Maio	1125	0,15	1246	0,15	1274	0,14
Junho	1178	0,14	1318	0,14	1362	0,14
Julho	1194	0,14	1329	0,14	1370	0,14
Agosto	1108	0,14	1232	0,14	1252	0,14
Set	926	0,14	1029	0,14	1043	0,14
	Ef. Média	14%		14%		14%

Anexo IV – Catálogos



GLOBAL SUN

Especificações Técnicas

Módulos FV 60 Células Policristalinas

Características Elétricas

Modelo	P240GSP	P245GSP	P250GSP	P255GSP
Potência máxima Pm (W)	240	245	250	255
Potência máxima voltagem Vm (V)	29.6	29.75	29.90	30.00
Potência máxima corrente Im (A)	8.2	8.30	8.45	8.55
Circuito aberto voltagem Voc (V)	37.35	37.50	37.75	38.00
Intensidade de corrente Isc (A)	8.75	8.85	8.95	9.00
Eficiência do módulo	14.7%	14.9%	15.2%	15.5%
Voltagem máxima do sistema	1000 (IEC) / 600 (UL)			
Tolerância de potência	+ 3%			

Componentes & Informação Mecânica

Vidro frontal	Vidro temperado de alta transparência, 4 mm - Saint Gobain (Albarino)
Caixa de junção	Weldmuller WM JB PVM, conector WM4 PV
Ligação	3 diodos - Diotec SK 3040
Cabo de saída	Hubert & Suhner Radox Smart 4mm ² 2 aprovação IEC e UL
Conectores	Weldmuller WMK4 / IP67 IEC e UL
Moldura	Alumínio anodizado 6063-43
Material de encapsulamento	EVA (0.50 ± 0.03 mm de espessura)
Selante	Silicone Dow Corning
Temperatura	- 40 °C até + 90 °C
Resistência ao impacto	Bola de aço de 535 g a uma altura de 1.3 m

Sumário de Garantias

A garantia da Global Sun protege contra défices de performance e defeitos de fabrico que possam ocorrer em qualquer dos materiais constituintes do módulo.

Technical Specifications

FV 60 Modules Polycrystalline Cells

Electrical Characteristics

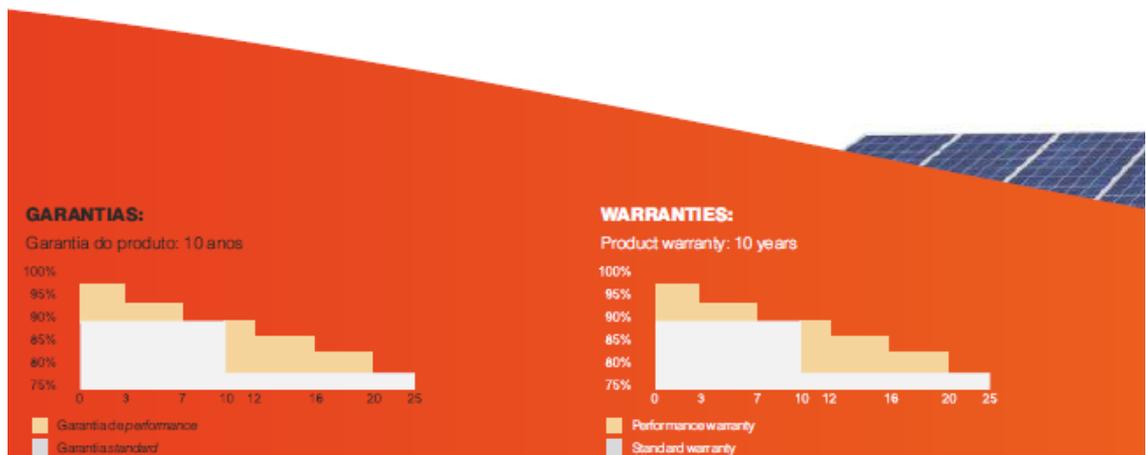
Model	P240GSP	P245GSP	P250GSP	P255GSP
Max Power Pm (W)	240	245	250	255
Max Power Voltage Vm (V)	29.6	29.75	29.90	30.00
Max Power Current Im (A)	8.2	8.30	8.45	8.55
Open-Circuit Voltage Voc (V)	37.35	37.50	37.75	38.00
Short-Circuit Current Isc (A)	8.75	8.85	8.95	9.00
Module Efficiency	14.7%	14.9%	15.2%	15.5%
Maximum System Voltage (V)	1000 (IEC) / 600 (UL)			
Power Tolerance	+ 3%			

Components & Mechanical Data

Frontal Glass	High Transparency Tempered Glass, 4mm - Saint Gobain (Albarino)
Junction Box	Weldmuller WM JB PVM, connector WM4 PV
Bypass Diode	3 diodes - Diotec SK 3040
Output Cables	Hubert & Suhner Radox Smart 4mm ² 2 approval IEC and UL
Connectors	Weldmuller WMK4 / IP67 IEC and UL
Frame	Anodized aluminium alloy type 6063-43
Encapsulation Material	EVA (0.50 ± 0.03 mm thickness)
Sealant	Silicone Dow Corning
Temperature Range	-40 °C to + 90 °C
Impact Resistance	Steel ball - 535 g dropped from 1.3m High

Warranty Summary

Global Sun's warranty protects against performance deficits and manufacturing defects that may occur in any constituent materials of the module.



Especificações

Células	Silício policristalino 156 mm x 156 mm
Número de células	60 (6x10)
Dimensões (mm)	1657 x 987 x 40
Peso (kg)	22.0

Specifications

Cells	Polycrystalline Silicon Solar Cells 156 mm x 156 mm
Number of cells	60 (6x10)
Dimensions (mm)	1657 x 987 x 40
Weight (Kg)	22.0

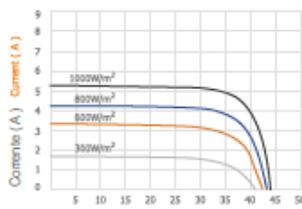
Coefficientes de Temperatura

NOCT (°C)	45 ± 2
Coefficiente de temperatura Isc (%/°C)	0.05 ± 0.01
Coefficiente de temperatura Voc (%/°C)	-0.32 ± 0.02
Coefficiente de temperatura Pm (%/°C)	-0.43 ± 0.05

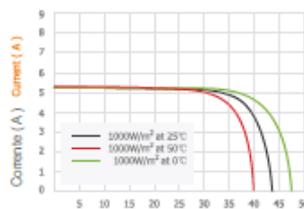
Temperature Coefficients

NOCT (°C)	45 ± 2
Temperature Coefficient of Isc (%/°C)	0.05 ± 0.01
Temperature Coefficient of Voc (%/°C)	-0.32 ± 0.02
Temperature Coefficient of Pm (%/°C)	-0.43 ± 0.05

Gráficos / Curves



Voltagem (V) Temperatura do módulo: 25°C
Voltage (V) Module temperature: 25°C



Voltagem (V)
Voltage (V)



Imagem frontal
Frontview

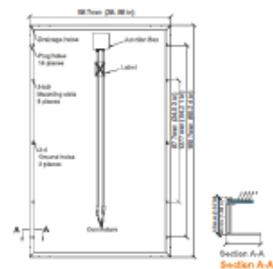


Imagem traseira
Backview



Notas

- STC: Radiação 1000W/m², temperatura do módulo 25°C, AM = 1.5
- A temperatura da célula nominal de operação nos dados acima é apenas referência
- Desvio do Vm(V), Im(A), Voc (V) e Isc(A) de ± 10%

Note

- STC: Irradiance 1000W/m², Module temperature 25°C, AM = 1.5
- Nominal Operating Cell Temperature above data is only for reference
- Deviation of Vm(V), Im(A), Voc (V) and Isc(A) of ± 10%

Certificações / Certifications:



Julho, 2014 Revisão 01 MOD.73/GS

Toda a informação está sujeita a alterações sem aviso prévio.

July, 2014 Revision 00 MOD.73/GS

All information is subject to change without notice.



GLOBALSUN

Lugar de Bouços - Gême
4730-180 Via Verde
Braga Portugal

t. +351 253 109 050
comercial@globalsun.pt
www.globalsun.pt



www.globalsun.pt

made in Portugal

ds group

S12-230AGM 12V 210Ah (C20)



CONSTANT CURRENT DISCHARGE (AMPS)											
Current (amps)	30M	45M	1H	2H	3H	5H	8H	10H	12H	20H	24H
1.75V	195.3	143.9	115.8	64.3	47.6	33.3	22.9	18.9	16.1	10.5	8.8

CAPACITY in AH (C20)	RESERVE CAPACITY		CCA	
	@25AMPS	@75 AMPS	CCA@0°C	CCA@-18°C
210	400 Mins.	105 Mins.	1425	1180

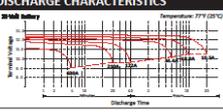
SPECIFICATIONS

Nominal Voltage	12 Volt
Rated Capacity (20 Hour Rate)	210AH
Total Height (including terminals)	240mm
Height	218mm
Length	530mm
Width	209mm
Weight	60.5Kg

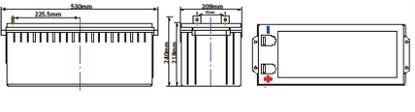
CHARACTERISTICS

Capacity 25°C (77°F)	20 Hour Rate (10.5A to 10.5 Volts)	210AH
	10 Hour Rate (18.9A to 10.5 Volts)	189AH
	5 Hour Rate (34.4A to 10.2 Volts)	172AH
Internal Resistance	Full Charged Battery 25°C (77°F)	2.3mΩ
Capacity Affected by Temperature (20 Hour Rate)	40°C (104°F)	100%
	25°C (77°F)	100%
	0°C (32°F)	85%
	-15°C (5°F)	65%
Self-Discharge 25°C (77°F)	Capacity after 3 Month Storage	91%
	Capacity after 6 Month Storage	82%
	Capacity after 12 Month Storage	64%
Max. Discharge Current 25°C (77°F)	2000A (5s)	
Terminal	Standard	Lug Terminal (LT)
Charging Cycle	Initial Charging Current 5 0.2 x C20	14.5V ~ 14.9V/25°C(77°F)
Float	13.6V ~ 13.8V/25°C(77°F)	

DISCHARGE CHARACTERISTICS



SIZE & DETAILED ILLUSTRATION



This information is generally descriptive only and is not intended to make or imply any representation, guarantee or warranty with respect to any cells and batteries. Cell and battery design/specification are subject to modification without notice. Contact Rolls Battery for the latest information.

S12-116AGM 12V 105Ah (C20)



CONSTANT CURRENT DISCHARGE (AMPS)											
Current (amps)	30M	45M	1H	2H	3H	5H	8H	10H	12H	20H	24H
1.75V	97.7	72.5	59.6	31.6	23.7	16.7	11.4	9.5	8.1	5.3	4.4

CAPACITY in AH (C20)	RESERVE CAPACITY		CCA	
	@25AMPS	@75 AMPS	CCA@0°C	CCA@-18°C
105	175 Mins.	45 Mins.	820	680

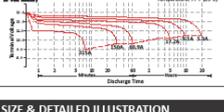
SPECIFICATIONS

Nominal Voltage	12 Volt
Rated Capacity (20 Hour Rate)	105AH
Total Height (including terminals)	233mm
Height	211mm
Length	307mm
Width	169mm
Weight	30.2Kg

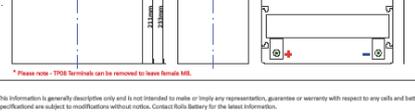
CHARACTERISTICS

Capacity 25°C (77°F)	20 Hour Rate (5.3A to 10.5 Volts)	105AH
	10 Hour Rate (9.5A to 10.5 Volts)	95AH
	5 Hour Rate (17.2A to 10.2 Volts)	86AH
Internal Resistance	Full Charged Battery 25°C (77°F)	4.0mΩ
Capacity Affected by Temperature (20 Hour Rate)	40°C (104°F)	102%
	25°C (77°F)	100%
	0°C (32°F)	85%
	-15°C (5°F)	65%
Self-Discharge 25°C (77°F)	Capacity after 3 Month Storage	91%
	Capacity after 6 Month Storage	82%
	Capacity after 12 Month Storage	64%
Max. Discharge Current 25°C (77°F)	1000A (5s)	
Terminal	Standard	M8 (w/TP08 - Brass AP & M included)
Charging Cycle	Initial Charging Current 5 0.2 x C20	14.5V ~ 14.9V/25°C(77°F)
Float	13.6V ~ 13.8V/25°C(77°F)	

DISCHARGE CHARACTERISTICS



SIZE & DETAILED ILLUSTRATION



This information is generally descriptive only and is not intended to make or imply any representation, guarantee or warranty with respect to any cells and batteries. Cell and battery design/specification are subject to modification without notice. Contact Rolls Battery for the latest information.

AGM SERIES 5

Rolls AGM Series 5

Rolls engineers designed the Series 5 as a heavy duty sealed deep cycle AGM battery to withstand both the marine leisure and commercial environments. Commercial & leisure vessels around the world have fitted our premium AGM range for its outstanding technical performance coupled with rugged case design characteristics giving them a superior shock and vibration resistance.

The Series 5 range offers industry leading cycle performance with increased cranking current, making them a versatile dual purpose maintenance free option for any vessel owner. Improved AGM technology results in a fast recharge whilst offering a low self-discharge point meaning batteries can be left unattended for prolonged periods of inactivity and retain performance.

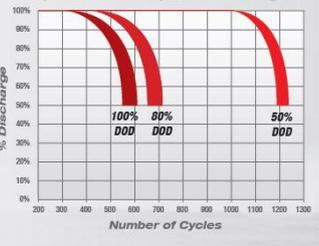
Features:

- **Cycle Performance - 1200 Cycles at 50% Discharge**
- **Extensive Life Cycles - Heavy Duty Deep Cycle Rate**
- **Rapid Recharge - Significant Increase in Recharge Rates**
- **Low Self-Discharge - Better Charge Retention**
- **Maintenance Free - Require No Maintenance**
- **Long Service Life - Designed to Offer Over 5 Years in Service Life**
- **Product Warranty - 5 Year**



Part Number	Capacity in Ah @C20	CCA		Terminal Type	Dimensions (mm) L x W x H	Weight (Kg)	
		@0°C	@-18°C				
AGM SERIES 5							
2V	S2-1275AGM	1150	-	-	M10	295 x 178 x 411	58
	S6-275AGM	250	1100	960	M8-TP08	262 x 181 x 273	35
	S6-370AGM	335	1845	1550	DT	295 x 178 x 366	48
6V	S6-460AGM	415	2180	1850	DT	295 x 178 x 424	56
	S12-95AGM	85	600	510	M8-TP08	260 x 169 x 237	25
12V	S12-116AGM	105	820	680	M8-TP08	307 x 169 x 233	30
	S12-128AGM	115	910	760	M8-TP08	328 x 172 x 236	33
	S12-160AGM	145	975	820	M8-TP08	341 x 173 x 309	44
	S12-230AGM	210	1425	1180	LT	530 x 209 x 238	61
	S12-240AGM	215	1645	1372	DT	381 x 178 x 371	60
	S12-290AGM	260	1830	1525	LT	521 x 269 x 245	78

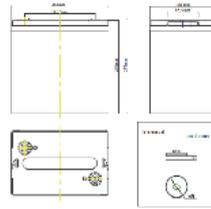
Cycle Life vs. Depth of Discharge







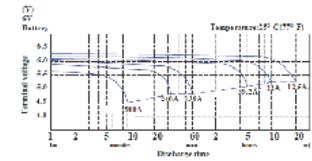
S6-275AGM



Specifications

Nominal Voltage:		6V
Rated Capacity (20 hour rate)		250Ah
Dimension	Total Weight (with terminals)	27.2kg (60.1lbs)
	Height	266mm (10.47inches)
	Length	262mm (10.31inches)
	Width	131mm (5.14inches)
Weight		Approx. 34.5kg (75.9lbs)

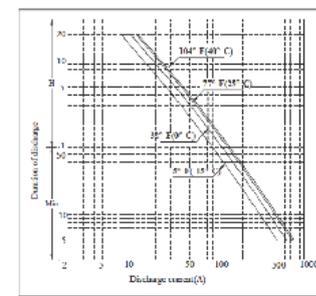
Discharge characteristics 77°F (25°C)



Characteristics

Capacity: 77°F (25°C)	20 hour rate (12.5A to 6.25Vdc)	250Ah
	10 hour rate (25A to 5.25Vdc)	238Ah
	5 hour rate (50A to 5.1Vdc)	206Ah
Internal Resistance	Full charged 77°F (25°C)	1.3mΩ
Capacity affected by temperature (20 hour rate)	77°F (25°C)	100%
	32°F (0°C)	85%
	5°F (-15°C)	65%
Self discharge: 77°F (25°C)	Capacity after 3 month storage	91%
	Capacity after 6 month storage	82%
	Capacity after 12 month storage	64%
Standard Terminal Max. Discharge Current 77°F (25°C)	M8	
	500A (5s)	
Reserve Capacity (Minutes to 25V at 91°F (33°C))	@ 25Amps	510Mins
	@ 75Amps	130Mins
Charging (constant Voltage)	Cycle	Initial Charging Current 50A Or Small 7.25V - 7.45V/77°F (25°C)
	Float	6.5V - 6.6V/77°F (25°C)

Duration of discharge vs. Discharge current



Constant Current Discharge Rating Amperes @ 77°F (25°C)

Cut off voltage V/cell	30M	45M	1H	2H	3H	5H	8H	10H	17H	20H	24H
1.75V	24.1	19.8	136.7	75.1	51.3	38.1	26.1	21.88	18.09	12.58	10.82

Battery specification								
VOLTAGE AND CAPACITY	Cell balancing only				Cell balancing and BMS interface			
	LFP-CB 12.8/60	LFP-CB 12.8/90	LFP-CB 12.8/160	LFP-CB 12.8/200	LFP-BMS 12.8/60	LFP-BMS 12.8/90	LFP-BMS 12.8/160	LFP-BMS 12.8/200
Nominal voltage	12.8V	12.8V	12.8V	12.8V	12.8V	12.8V	12.8V	12.8V
Nominal capacity @ 25°C*	60Ah	90Ah	160Ah	200Ah	60Ah	90Ah	160Ah	200Ah
Nominal capacity @ 0°C*	48Ah	72Ah	130Ah	160Ah	48Ah	72Ah	130Ah	160Ah
Nominal capacity @ -20°C*	30Ah	45Ah	80Ah	100Ah	30Ah	45Ah	80Ah	100Ah
Nominal energy @ 25°C*	768Wh	1152Wh	2048Wh	2560Wh	768Wh	1152Wh	2048Wh	2560Wh
*Discharge current ≤1C								
CYCLE LIFE								
80% DoD	2500 cycles							
70% DoD	3000 cycles							
50% DoD	5000 cycles							
DISCHARGE								
Maximum continuous discharge current	180A	270A	400A	500A	180A	270A	400A	500A
Recommended continuous discharge current	≤60A	≤90A	≤160A	≤200A	≤60A	≤90A	≤160A	≤200A
Maximum 10 s pulse current	600A	900A	1200A	1500A	600A	900A	1200A	1500A
End of discharge voltage	11V	11V	11V	11V	11V	11V	11V	11V
OPERATING CONDITIONS								
Operating temperature	-20°C to +50°C (maximum charge current when battery temperature < 0°C: 0.05 C, i.e. 10A in case of a 200Ah battery)							
Storage temperature	-45°C to +70°C							
Humidity (non condensing)	Max. 95%							
Protection class	IP 54							
CHARGE								
Charge voltage	Between 14V and 15V (<14.5V recommended)							
Float voltage	13.6V							
Maximum charge current	60A	90A	160A	200A	180A	270A	400A	500A
Recommended charge current	≤20A	≤25A	≤40A	≤50A	≤30A	≤45A	≤80A	≤100A
OTHER								
Max storage time @ 25 °C*	1 year							
BMS connection	n. a.				Male + female cable with M8 circular connector, length 50 cm			
Power connection (threaded inserts)	M8	M8	M10	M10	M8	M8	M10	M10
Dimensions (h*wx*wd) mm	235x293x139	249x293x168	320x338x233	295x425x274	235x293x139	249x293x168	320x338x233	295x425x274
Weight	12kg	16kg	33kg	42kg	12kg	16kg	33kg	42kg
*When fully charged								

Steca Solarix MPPT
MPPT 1010, MPPT 2010

Steca Solarix MPPT is a solar charge controller with Maximum Power Point Tracking. It is specially designed to work with all established module technologies and is optimized for solar systems with module voltages higher than the battery voltage. The Steca Solarix MPPT is especially qualified in combination with grid tied solar modules. The advanced MPPT-tracking algorithm from Steca assures that the maximum available power of the solar generator is charged to the batteries. The Steca Solarix MPPT with latest technology ensures full performance in all conditions, a professional battery care combined with modern design and excellent protection.



Product features

- Maximum Power Point Tracker (MPPT tracker)
- Voltage and current regulation
- Automatic load reconnection
- Temperature compensation
- Positive earthing of one or negative earthing of several terminals possible
- Monthly maintenance charge

Electronic protection functions

- Overcharge protection
- Deep discharge protection
- Reverse polarity protection of module, load and battery
- Reverse polarity protection by internal fuse
- Automatic electronic fuse
- Short circuit protection
- Overvoltage protection at module input
- Open circuit protection without battery
- Reverse current protection at night
- Overtemperature and overload protection
- Load disconnection on battery overvoltage

Displays

- Multifunction LED display
- Multi-coloured LED
- 5 LEDs show operating states
- ~ for operation, state of charge, fault messages

Options

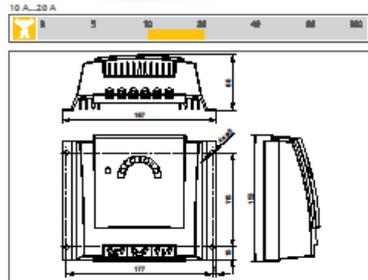
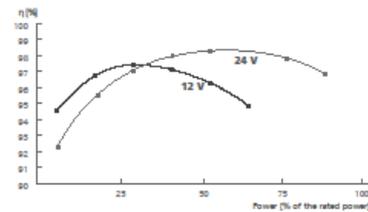
- Evening or night light function pre-set in the factory or adjustable via Steca PA RC 100
- Parameterisation of function values via Steca PA RC 100

Certificates

- Compliant with European Standards (CE)
- RoHS compliant
- Made in Germany
- Developed in Germany
- Manufactured according to ISO 9001 and ISO 14001

Steca accessories

- External temperature sensor Steca PA TS10
- Remote control Steca PA RC100



	MPPT 1010	MPPT 2010
Characterization of the operating performance		
System voltage	12 V (24 V)	12 V (24 V)
Nominal power	125 W (250 W)	250 W (500 W)
Max. DC-DC efficiency	98.3 % (U _{bat} =24 V; U _{in} =30 V; P=0.6 P _{nom})	98.3 % (U _{bat} =24 V; U _{in} =30 V; P=0.6 P _{nom})
European efficiency	94.7 % (U _{bat} =12 V; U _{in} =30 V)	96.7 % (U _{bat} =24 V; U _{in} =30 V)
European efficiency (weighted across all U _{bat} and U _{in})	95.2 %	
Static MPPT efficiency	99.9 % (DIN EN 50530)	
Dynamic MPPT efficiency	97.7 % (DIN EN 50530)	
Weighted KcW (Realistic equally weighted efficiency)	92.6 %	
Own consumption	10 mA	
DC input side		
MPP voltage	15 V (30 V) < U _{bat}	15 V (30 V) < U _{bat}
Open circuit voltage solar module (at minimum operating temperature)	17 V...75 V (34 V...75 V)	17 V...100 V (34 V...100 V)***
Module current	9 A	18 A
DC output side		
Load current**	10 A	
Reconnection voltage (LV)*	12.5 V (25 V)	
Deep discharge protection (LVD)*	11.5 V (23 V)	
Battery side		
Charge current	10 A	20 A
End of charge voltage*	13.9 V (27.8 V)	
Boost charge voltage*	14.4 V (28.8 V)	
Equalization charge*	14.7 V (29.4 V)	
Set battery type*	liquid	
Operating conditions		
Ambient temperature	-25 °C ... +40 °C	
Fitting and construction		
Terminal (fine / single wire)	16 mm ² / 25 mm ² - AWG 6 / 4	
Degree of protection	IP 32	
Dimensions (K x Y x Z)	187 x 153 x 68 mm	
Weight	approx. 900 g	

* adjustable via Steca PA RC100
 ** Insertion must not be connected to the load output.
 *** CAUTION: If an open circuit voltage of more than 100 V is supplied to the connected solar module, the controller will be destroyed. When selecting the solar module, it is important to bear in mind that the open circuit voltage should never exceed 100 V over the entire working temperature range. When using solar modules with a maximum open circuit voltage of between 75 and 100 V (over the entire temperature range), all installation steps must be carried in accordance with protection class II.

www.steca.com

Steca PA RC100

Programming unit

The programming unit Steca PA RC100 allows to program Steca solar charge controllers. The values can be adjusted with the help of switches. After a restart of the charge controller the new settings can be activated by pressing the program-button on the Steca PA RC100. An LED will transfer the values to the controller.

Product features

- Low weight
- Simple installation
- Maintenance-free
- Low own consumption
- Best reliability



	PA RC100
Characterisation of the operating performance	
Supply voltage	3 V (2 x 1.5 V AAA / R03 batteries)
Adjustable parameters	- Type of battery: gel / liquid - Night light function - End of charge voltages (float / boost / equal) - Deep discharge protection (LVD) - LVD factor - Switch-on threshold
Suitable for the following Steca charge controllers	- Steca Solium F - Steca Solarix FRS - Steca Solarix MPPT 1010/2010 - Steca Solium 2525/4040
Fitting and construction	
Dimensions (K x Y x Z)	115 x 57 x 20 mm
Weight	90 g

Technical data at 25 °C / 77 °F

SOLAR CHARGE CONTROLLERS

Steca PR
1010, 1515, 2020, 3030

The Steca PR 10-30 series of charge controllers is the highlight in the range. Use of the latest charging technologies combined with state of charge determination enable optimal battery maintenance and module power monitoring. A large display informs the user about all operating modes with the aid of symbols. The state of charge is represented visually in the form of a level meter. Data such as voltage, current and state of charge can also be displayed digitally as figures on the display. In addition, the controller has an energy meter which can be reset by the user.

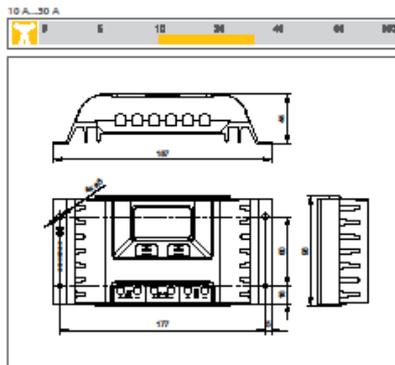
CLASSIC



Quality made in Germany



- Product features**
- Hybrid controller
 - State of charge determination with Steca AtonIC (SOC)
 - Automatic detection of voltage
 - PWM control
 - Multistage charging technology
 - Load disconnection depending on SOC
 - Automatic load reconnection
 - Temperature compensation
 - Negative earthing of one or positive earthing of several terminals possible
 - Integrated data logger (energy meter)
 - Evening, night light and daylight functions
 - Integrated self test
 - Monthly maintenance charge
- Electronic protection functions**
- Overcharge protection
 - Deep discharge protection
 - Reverse polarity protection of module, load and battery
 - Automatic electronic fuse
 - Short circuit protection of load and module
 - Overvoltage protection at module input
 - Open circuit protection without battery
 - Reverse current protection at night
 - Overtemperature and overload protection
 - Load disconnection on battery overvoltage
- Displays**
- Graphical LCD display
 - ~ for operating parameters, fault messages, self test
- Operation**
- Simple menu-driven operation
 - Programming by buttons
 - Manual load switch
- Options**
- Alarm contact
- Certificates**
- Approved by the World Bank for Nepal
 - Compliant with European Standards (CE)
 - RoHS compliant
 - Made in Germany
 - Developed in Germany
 - Manufactured according to ISO 9001 and ISO 14001
- Steca accessories**
- External temperature sensor Steca FA TS10



	1010	1515	2020	3030
Characterization of the operating performance				
System voltage	12 V (24 V)			
Own consumption	12.5 mA			
DC input side				
Open circuit voltage solar module (at minimum operating temperature)	< 47 V			
Module current	10 A	15 A	20 A	30 A
DC output side				
Load current*	10 A	15 A	20 A	30 A
Reconnection voltage (SOC / U/I)	> 50 % / 12.6 V (25.2 V)			
Deep discharge protection (SOC / U/I)	< 30 % / 11.1 V (22.2 V)			
Battery side				
End of charge voltage	13.9 V (27.8 V)			
Boost charge voltage	14.4 V (28.8 V)			
Equalization charge	14.7 V (29.4 V)			
Set battery type	liquid (adjustable via menu)			
Operating conditions				
Ambient temperature	-10 °C ... +50 °C			
Fitting and construction				
Terminal (fine / single wire)	16 mm ² / 25 mm ² - AWG 6 / 4			
Degree of protection	IP 32			
Dimensions (X x Y x Z)	187 x 96 x 44 mm			
Weight	350 g			

Technical data at 25 °C / 77 °F
*Inverters must not be connected to the load output.

BlueSolar charge controller MPPT 100/30

www.victronenergy.com



Solar charge controller
MPPT 100/30

Ultra-fast Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Especially in case of a clouded sky, when light intensity is changing continuously, an ultra fast MPPT controller will improve energy harvest by up to 30% compared to PWM charge controllers and by up to 10% compared to slower MPPT controllers.

Advanced Maximum Power Point Detection in case of partial shading conditions

If partial shading occurs, two or more maximum power points may be present on the power-voltage curve.

Conventional MPPT's tend to lock to a local MPP, which may not be the optimum MPP.

The innovative BlueSolar algorithm will always maximize energy harvest by locking to the optimum MPP.

Outstanding conversion efficiency

No cooling fan. Maximum efficiency exceeds 98%. Full output current up to 40°C (104°F).

Flexible charge algorithm

Fully programmable charge algorithm (see the software page on our website), and eight preprogrammed algorithms, selectable with a rotary switch (see manual for details).

Extensive electronic protection

Over-temperature protection and power derating when temperature is high.

PV short circuit and PV reverse polarity protection.

PV reverse current protection.

Internal temperature sensor

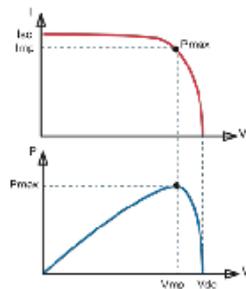
Compensates absorption and float charge voltage for temperature.

Real-time data display options

- Apple and Android smartphones, tablets and other devices:

- see the VE.Direct to Bluetooth low energy dongle

- ColorControl panel



Maximum Power Point Tracking

Upper curve:

Output current (I) of a solar panel as function of output voltage (V).

The maximum power point (MPP) is the point P_{max} along the curve where the product I x V reaches its peak.

Lower curve:

Output power P = I x V as function of output voltage.

When using a PWM (not MPPT) controller the output voltage of the solar panel will be nearly equal to the voltage of the battery, and will be lower than V_{mp}.

BlueSolar charge controller	MPPT 100/30
Battery voltage	12/24 V Auto Select
Maximum output current	30 A
Maximum PV power, 12V 1a,b)	440 W (MPPT range 15 V to 80 V)
Maximum PV power, 24V 1a,b)	880 W (MPPT range 30 V to 80 V)
Maximum PV open circuit voltage	100 V
Maximum efficiency	98 %
Self-consumption	10 mA
Charge voltage 'absorption'	Default setting: 14,4 V / 28,8 V (adjustable)
Charge voltage 'float'	Default setting: 13,8 V / 27,6 V (adjustable)
Charge algorithm	multi-stage adaptive
Temperature compensation	-16 mV / °C resp. -32 mV / °C
Protection	Battery reverse polarity (fuse, not user accessible) Output short circuit Over temperature
Operating temperature	-30 to +60°C (full rated output up to 40°C)
Humidity	95 %, non-condensing
Data communication port	VE.Direct See the data communication white paper on our website
ENCLOSURE	
Colour	Blue (RAL 5012)
Power terminals	13 mm ² / AWG6
Protection category	IP43 (electronic components), IP22 (connection area)
Weight	1,25 kg
Dimensions (h x w x d)	130 x 186 x 70 mm
STANDARDS	
Safety	EN/IEC 62109

1a) If more PV power is connected, the controller will limit input power to 440W resp. 880 W
1b) PV voltage must exceed V_{bat} + 5V for the controller to start.
Thereafter minimum PV voltage is V_{bat} + 1V



MBC Series

Model	MBC 12-06/1	MBC 12-15/1	MBC 24-03/1	MBC 24-08/1	MBC 24-15/1	MBC 24-32/1
Battery voltage (Vdc)	12	12	24	24	24	24
Input voltage (Vac)	230 ±15% (40 - 60 Hz)					
Charge voltage (boost) (Vdc)	14.4	14.4	28.8	28.8	28.8	28.8
Charge voltage (float) (Vdc)	13.8	13.8	27.6	27.6	27.6	27.6
Output (A)	6	15	3	8	15	32
Cooling	Heat sink					
Outputs	1					
Efficiency	> 85 %					
Ambient temp. range	-25 to 50°C					
Dimensions lxxwxxh (mm)	155x80x36	195x100x47	155x80x36	195x100x46	193x99x46	158x245x47.5
Weight (kg)	0.9	1.8	0.9	1.8	1.8	3.8
Switch to Floating mode (A)	0.2	0.8	0.2	0.4	1.5	3.5
Secondary fuse (A)	7.5	20	7.5	15	20	40
Input wired	-	-	-	-	-	-
Output wired	-	-	-	-	-	-
Warranty	2 years					

Blue Power Charger IP65	12 V 5/7/10/15 A	24 V 5/8 A
Input voltage range	180-265 VAC	
Efficiency	94%	95%
Standby power consumption	0,5 W	
Charge voltage 'absorption'	Normal: 14,4 V High: 14,7 V Li-ion: 14,2 V	Normal: 28,8 V High: 29,4 V Li-ion: 28,4 V
Charge voltage 'float'	Normal: 13,8 V High: 13,8 V Li-ion: 13,5 V	Normal: 27,6 V High: 27,6 V Li-ion: 27,0 V
Charge voltage 'storage'	Normal: 13,2 V High: 13,2 V Li-ion: 13,5 V	Normal: 26,4 V High: 26,4 V Li-ion: 27,0 V
Charge current	5 / 7 / 10 / 15 A	5 / 8 A
Low current mode	2 / 2 / 3 / 4 A	2 / 3 A
Temperature compensation (lead-acid batteries only)	16 mV/°C	32 mV/°C
Can be used as power supply	Yes	
Back current drain	0,7 Ah/month (1 mA)	
Protection	Reverse polarity Output short circuit Over temperature	
Operating temp. range	-30 to +50°C (full rated output up to 30°C) (cables retain flexibility at low temperature)	
Humidity (non condensing)	Max 95 %	
ENCLOSURE		
Battery-connection	Black and red cable of 1,5 meter with 20 A DC connector, clamps and M6 eyelets	
230 V AC-connection	Cable of 1,5 meter with CEE 7/17, BS 1363 plug (UK) or AS/NZS 3112 plug	
Protection category	IP65 (splash and dust proof)	
Weight	0,9 kg	0,9 kg
Dimensions (h x w x d)	12/5 & 12/7: 47x95x190mm Other: 60x105x190mm	24/5: 47x95x190mm Other: 60x105x190mm
STANDARDS		
Safety	EN 60335-1,EN 60335-2-29	
Emission	EN 55014-1,EN 61000-6-3,EN 61000-3-2	
Immunity	EN 55014-2,EN 61000-6-1,EN 61000-6-2,EN 61000-3-3	

Blue Power Battery Charger GX IP 20: 12/25 and 24/12

180-265 VAC

www.victronenergy.com



Blue Power Battery Charger
GX IP 20 12/25 (1)

Adaptive 4-stage charge characteristic: bulk – absorption – float – storage

The Blue Power charger features a microprocessor controlled 'adaptive' battery management. The 'adaptive' feature will automatically optimize the charging process relative to the way the battery is being used.

Less maintenance and aging when the battery is not in use: the Storage Mode

The storage mode kicks in whenever the battery has not been subjected to discharge during 24 hours. In the storage mode float voltage is reduced to 2,2 V/cell (13,2 V for a 12 V battery) to minimize gassing and corrosion of the positive plates. Once a week the voltage is raised back to the absorption level to 'equalize' the battery. This feature prevents stratification of the electrolyte and sulfation, a major cause of early battery failure.

Protected against overheating and silent fan cooling

Output current will reduce as temperature increases up to 60°C, but the Blue Power charger will not fail. The load and temperature controlled fan is practically inaudible.

Two LED's for status indication

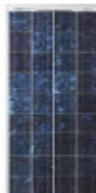
Yellow LED: bulk charge (blinking fast), absorption (blinking slow), float (solid), storage (off)
Green LED: power on

Learn more about batteries and battery charging

To learn more about batteries and charging batteries, please refer to our book 'Energy Unlimited' (available free of charge from Victron Energy and downloadable from www.victronenergy.com).

Blue Power Charger GX IP 20	12/25 (1)	24/12 (1)
Input voltage range	180-265 VAC or 250-350 VDC	180-265 VAC or 250-350 VDC
Frequency	45-65 Hz or DC	
Number of outputs	1	1
Charge voltage 'absorption' (V DC)	14,4	28,8
Charge voltage 'float' (V DC)	14	28
Charge voltage 'storage' (V DC)	13,2	26,4
Charge current (A)	25	12 or 15
Charge characteristic	4-stage adaptive	
Minimum battery capacity (Ah)	75	45
Can be used as power supply	Yes	
Protection	Battery reverse polarity (fuse)	Output short circuit Over temperature
Operating temp. range	-20 to +60°C (full rated output up to 40°C)	
Humidity (non condensing)	Max 95 %	
Cooling	Fan assisted	
ENCLOSURE		
Material & Colour	Aluminium (blue RAL 5012)	
Battery connection	One output: black and red cable of 1,5 meter	Three outputs: screw terminals 6 mm ²
230 V AC-connection	Cable of 1,5 meter with CEE 7/7 or AS/NZS 3112 plug	
Protection category	IP 20	
Weight (kg)	1,3	
Dimensions (h x w x d in mm)	66 x 90 x 235	
STANDARDS		
Safety	EN 60335-1, EN 60335-3-20	
Emission	EN 55014-1, EN 61000-6-3, EN 61000-3-2	
Immunity	EN 55014-2, EN 61000-6-1, EN 61000-6-2, EN 61000-3-3	

Monitor de Bateria	BMV 700	BMV 702 BMV 702 NEGRO	BMV 700HS
Intervalo da tensão de alimentação	6,5 VCC a 95 VCC	6,5 VCC a 95 VCC	60 VCC a 385 VCC
Consumo de corrente – retroiluminação desativada	< 4 mA	< 4 mA	< 4 mA
Intervalo da tensão de entrada, bateria auxiliar	n.a.	6,5 VCC a 95 VCC	n.a.
Capacidade da bateria (Ah)	20 Ah a 9999 Ah		
Intervalo da temperatura de funcionamento	- 20 °C a 50 °C (0 °F a 120 °F)		
Medição da tensão de uma segunda bateria, da temperatura ou do ponto médio	Não	Sim	Não
Intervalo da medição da temperatura	- 20 °C a 50 °C		n.a.
Porta de comunicação VE.Direct.	Sim	Sim	Sim
Relé	60 V/1 A normalmente aberto (o funcionamento pode ser invertido)		
RESOLUÇÃO E PRECISÃO (com um derivador de 500 A)			
Corrente	± 0,01 A		
Tensão	± 0,01 V		
Amperes-hora	± 0,1 Ah		
Estado da carga (0 % a 100 %)	± 0,1 %		
Tempo restante	± 1 min		
Temperatura (0 °C a 50 °C ou 30 °F a 120 °F)	n.a.	± 1 °C/°F	n.a.
Precisão da medição de corrente	± 0,4 %		
Precisão da medição de tensão	± 0,3 %		
INSTALAÇÃO E DIMENSÕES			
Instalação	Montagem embutida		
Frente	63 mm de diâmetro		
Capa frontal	69 mm x 69 mm (2,7 in x 2,7 in)		
Diâmetro do corpo	52 mm (2,0 in)		
Profundidade do corpo	31 mm (1,2 in)		
NORMAS			
Segurança	EN 60335-1		
Emissões / Imunidade	EN 55014-1 / EN 55014-2		
Automóvel	ECE R10-4 / EN 50498		
ACESSÓRIOS			
Derivador (incluído)	500 A / 50 mV		
Cabos (incluído)	UTP de 10 m, 6 núcleos e conectores RJ12, e cabo com fusível para ligação +		
Sensor de temperatura	Opcional (ASS000100000)		

Módulos Fotovoltaicos:

SolarWorld	
SW-55 - 55W POLI	68,58€
SW-80 - 80W MONO	88,00€
SW-150 - 150W POLI	164,00€
SW-200 - 200W POLI	200,00€
SW-250 - 250W POLI	230,00€
SW-285 - 285W MONO	285,00€



SunPower - Monocristalino	
SPR - 335NE - 335W - X21	675,00€

TRINA - Monocristalino	
Trina TSM 185 - 185W	300,00€

SumSol	
Sumsol MS-10P - 10W	37,65€
Sumsol MS-20P - 20W	64,80€

Reguladores de Carregamento:

Steca	
Solsum 6.6 F - 6A	19,00€
Solsum 8.8 F - 8A	25,00€
Solsum 10.10 F - 10A	34,00€
Steca PRS 1010 - 10A sem LCD	53,80€
Steca PRS 1515 - 15A sem LCD	58,00€
Steca PRS 2020 - 20A sem LCD	64,00€
Steca PRS 3030 - 30A sem LCD	85,00€
Steca PR 1010 - 10A com LCD	82,00€
Steca PR 1515 - 15A com LCD	98,00€
Steca PR 2020 - 20A com LCD	113,00€
Steca PR 3030 - 30A com LCD	134,00€

Steca serie Tarom (por encomenda)	
Steca Tarom 4545 12/24V 45A com LCD	268,75€
Steca Tarom MPPT 6000 12/24/48V 60A	840,04€

Phocos	
Phocos CM 04 - 4 A	22,05€
Phocos CR 10LC - 10 A	66,70€
Phocos CML 05	24,00€
Phocos CML 10	34,00€
Phocos CML 15	46,50€
Phocos CXN 10	55,00€
Phocos PL 20 com LCD	429,35€
Phocos PL 40 com LCD	522,69€
Phocos PL 60 com LCD	822,00€

Morningstar (preços sob consulta)

Trace	
Trace C40	205,23€

Reguladores de Carregamento MPPT:

Outback	
FM 60	595,00€
FM 80	682,50€
FM Extreme 150V DC 80A	1.485,00€
FM Extreme Fan	86,75€



Studer - Série VarioTrack	
STC MPPT 20	285,00€
VT - 65	626,25€
VT - 80	706,25€
VS - 120	2.087,50€

Steca	
Steca MPPT 1010	185,63€
Steca MPPT 2010	227,00€

Phocos	
Phocos MPPT 100/30	255,00€

Baterias de Bloco TUDOR - 12V (acresce taxa Ecovalor em vigor):

Tudor - Série Sonnenschein		Tudor - Série Enersol		
	Sonnenschein S-12/60 Ah	160,00€	ENERSOL 50	103,38€
	Sonnenschein S-12/85 Ah	210,63€	ENERSOL 100	168,19€
	Sonnenschein S-12/130 Ah	300,40€	ENERSOL 130	207,00€
	Sonnenschein S-12/230 Ah	511,88€	ENERSOL 175	309,20€
			ENERSOL 250	423,05€

Baterias Estacionárias BARDEN Rolls (acresce taxa Ecovalor em vigor):

Rolls - Série 4000		Rolls Série AGM - 2V		
	24HT80 - 12V - 106Ah/100h	172,78€	S2-590AGM - 2V - 590Ah/100h	419,50€
	30H 125 - 12V - 166Ah/100h	284,38€	S2-945AGM - 2V - 945Ah/100h	685,80€
	T12 136 - 12V - 181Ah/100h	371,97€	S2-1180AGM - 2V - 1180Ah/100h	839,50€
	T12 250 - 12V - 266Ah/100h	418,05€	S2-1275AGM - 2V - 1275Ah/100h	588,80€
	S480-6V-486Ah/100h	288,00€	S2-1895AGM - 2V - 1895Ah/100h	1.354,00€
	S550-6V-554Ah/100h	318,55€	S2-2375AGM - 2V - 2375Ah/100h	1.704,00€
	S605-6V-605Ah/100h	353,69€	S2-3560AGM - 2V - 3560Ah/100h	2.487,00€
	S1380-2V-1380Ah/100h	318,91€	Rolls Série AGM - 6V	
	S1590-2V-1590Ah/100h	388,50€	S6-275AGM - 6V - 275Ah/100h	309,17€
	S1725-2V-1729Ah/100h	416,14€	S6-370AGM - 6V - 370Ah/100h	425,38€
	Rolls - Série 4500		S6-460AGM - 6V - 460Ah/100h	498,12€
	S-1400EX - 2V - 1408Ah/100h	413,11€	Rolls Série AGM - 12V	
	S-500EX - 6V - 503Ah/100h	398,36€	S-12-95AGM - 12V - 94Ah/100h	247,06€
	Rolls Série 5000		S-12-116AGM - 12V - 116Ah/100h	264,92€
	2KS 33P - 2V - 2491Ah/100h	674,54€	S-12-128AGM - 12V - 128Ah/100h	285,91€
	2OS 33P - 2V - 2655Ah/100h	706,07€	S-12-160AGM - 12V - 161Ah/100h	408,97€
	2YS 31P - 2V - 3435Ah/100h	862,50€	S-12-230AGM - 12V - 231Ah/100h	536,12€
	4CS 17P - 4V - 770Ah/100h	490,06€	S-12-240AGM - 12V - 237Ah/100h	545,04€
	4KS 21P - 4V - 1557Ah/100h	872,50€	S-12-290AGM - 12V - 290Ah/100h	688,01€
	4KS 25P - 4V - 1900Ah/100h	1.010,44€	Rolls Série Marine	
	4KS 27P - 4V - 2062Ah/100h	1.077,00€	6 FS-220 - 6V - 220Ah/20h	153,79€
	6CS 17P - 6V - 770Ah/100h	735,07€	6 FS-250 - 6V - 250Ah/20h	209,18€
	6CS 21P - 6V - 963Ah/100h	850,00€	6 FS-400 - 6V - 400Ah/20h	309,05€
	6CS 25P - 6V - 1156Ah/100h	1.025,00€	12 FS-80 - 12V - 80Ah/20h	138,23€
	6CS 27P - 6V - 1253Ah/100h	1.104,35€	12 FS-125 - 12V - 125Ah/20h	171,93€
	12CS11P - 12V - 503Ah/100h	1.018,13€	12 FS-135 - 12V - 136Ah/20h	263,88€
			12 FS-200 - 12V - 200Ah/20h	378,75€
			12 FS-221 - 12V - 221Ah/20h	474,33€
			12 EHG210 - 12V - 210Ah/20h	661,11€
			12 HHG325 - 12V - 324Ah/20h	874,19€

Carregadores de Baterias:

STUDER - Série MBC		
	MBC 12-06/1 / MBC 24-03/1	187,50€
	MBC 12-15/1 / MBC 24-08/1	285,30€
	MBC 24-32/1	701,01€

Bombas de Pressão:

Shurflo		
	Shurflo 10l/min. 12V - (2088-443-144)	105,14€
	Shurflo 10l/min. 12V - (2088-403-143)	86,88€
	Shurflo 11l/min. 12V - (2088-514-145)	175,43€
	Shurflo 11,5l/min. 24V - (2088-474-144)	122,00€
	Shurflo 18.9l/min. 12V - (5050-1310-D011)	175,00€

FF SOLAR Energias Renováveis, Lda. Parque Ind. Feiteirinha, Lt.1, 8670-440 Aljezur - Portugal
Tel.+351 282 998 745, Fax. +351 282 998 746, mail@ffsolar.com, www.ffsolar.com

Anexo V – Orçamento das Soluções

Orçamento - Solução 1.1 (12V)

Equipamento	Designação	Preço unit. €	Quant	Preço (€)	Peso (kg)	Dimensões (mm)
Painel Fotovoltaico	Globalsun P255GSP - 255W	153€	1	€ 153,00	22	1657x987x40
Bateria	ROLLS S12/230AGM	375,29€	1	€ 375,29	67	530x209x218
Controlador de Carga	Steca Solarix MPPT2010	158,9€	1	€ 158,90	0,9	187x153x68
Carregador	STUDER MBC 12-15/1	199,71€	1	€ 199,71	1,8	195x100x47
Controlo Parâmetros	Steca PA RC100	(incluído)	1	-	0,09	-
Cabos	6-10 mm2 (AWG 7-9)	(incluído)	6	-	0	-
Arca Congeladora	-	-	1	-	80	1000x950x860
TOTAL				886,90 €	171,8 kg	

Orçamento - Solução 1.2 (12V)

Equipamento	Designação	Preço unit. €	Quant	Preço (€)	Peso (kg)	Dimensões (mm)
Painel Fotovoltaico	Globalsun P255GSP - 255W	153€	1	€ 153,00	22	1657x987x40
Bateria	ROLLS S6/275AGM	216,42€	2	€ 432,84	70	262x181x266
Controlador de Carga	Steca Solarix MPPT2010	158,9€	1	€ 158,90	0,9	187x153x68
Carregador	Victron Blue Power IPP 12/30	190€	1	€ 190	1,3	235x108x65
Controlo Parâmetros	Steca PA RC100	(incluído)	1	(incluído)	0,09	-
Cabos	6-10 mm2 (AWG 7-9)	(incluído)	6	(incluído)	0	-
Arca Congeladora	-	-	1	-	80	1000x950x860
TOTAL				934,74 €	174,3 kg	

Orçamento - Solução 1.3 (12V)

Equipamento	Designação	Preço unit. €	Quant	Preço (€)	Peso (kg)	Dimensões (mm)
Painel Fotovoltaico	Globalsun P255GSP - 255W	153€	1	€ 153,00	22	1657x987x40
Bateria	ROLLS S12/116AGM	185,45€	2	€ 370,90	60	530x209x218
Controlador de Carga	Steca Solarix MPPT2010	158,9€	1	€ 158,90	0,9	187x153x68
Carregador	Studer MBC 12-15/1	199.71€	1	€ 199.71	1,8	195x100x47
Controlo Parâmetros	Steca PA RC100	(incluído)	1	(incluído)	0,09	-
Cabos	6-10 mm2 (AWG 7-9)	(incluído)	6	(incluído)	0	-
Arca Congeladora	-	-	1	-	80	1000x950x860
TOTAL				882,51 €	164,8 kg	

Orçamento - Solução 2 (24V)

Equipamento	Designação	Preço unit. €	Quant	Preço (€)	Peso (kg)	Dimensões (mm)
Painel Fotovoltaico	Globalsun P255GSP - 255W	153€	1	€ 153,00	22	1657x987x40
Bateria	ROLLS S12/116AGM	185,45€	2	€ 370,90	60	307x169x211
Controlador de Carga	Steca PR 1515	40,60€	1	€ 40,60	0,35	187x96x44
Carregador	STUDER MBC 12-15/1	199,71€	1	€ 199,71	1,8	195x100x47
Controlo Parâmetros	(No próprio Controlador)	-	1	-	0,09	-
Cabos	1.5-6 mm2 (AWG 9-15)	-	6	-	-	-
Arca Congeladora	-	-	1	-	80	1000x950x860
TOTAL				764,21 €	164,2 kg	

Orçamento - Solução 3 (12.8V)

Equipamento	Designação	Preço unit. €	Quant	Preço (€)	Peso (kg)	Dimensões (mm)
Painel Fotovoltaico	Globalsun P255GSP - 255W	153€	1	€ 153,00	22	1657x987x40
Bateria	Victron Lithium-Ion 12.8V - 90Ah	1100,00€	1	€ 1100,00	16	249x293x168
Controlador de Carga	Victron BluePower MPPT100/30	200,00€	1	€ 200,00	1,25	130x186x70
Carregador	Victron BluePower IP65 12/15	150,00€	1	€ 150,00	0,9	60x105x190
Controlo Parâmetros	Victron BMV-700 + Shunt 500A	146,00€	1	146,00€	0,3	65x65x30
Cabo Programação	VE.Direct Bluetooth 3m	17,00€	1	-	-	-
Cabos	6-10 mm2 (AWG 7-9)	(incluido)	6	(incluido)	-	-
Arca Congeladora	-	-	1	-	80	1000x950x860
TOTAL 1				1766,00€	120,5 kg	
BMS	Victron VE.Bus – Battery Management System	66,00€	1	66,00€	0,11	105x78x32
Cabo Conexão	VE.Direct non inverting remote on-off cable	25,00€	1	25,00€	-	-
TOTAL 2				1857,00€	120,6 kg	

Anexo VI – Avaliação Soluções: Método dos Objetivos Ponderados

Para as duas avaliações consideradas (segundo o Método dos Objetivos Ponderados), adotaram-se pontuações de “utilidade” baseadas numa escala de 5 e 10 classes, apresentadas seguidamente:

Tabela A6 1 - Escala de pontuações de 5 classes

Pontuação	Custo (€)	Peso (kg)	Tempo Vida Útil baterias (anos)	Eficiência do Sub-sistema (%)
5	<750€	<100 kg	21-25	>90
4	750-1000€	100-125 kg	16-2	89-85%
3	1001-1250€	126-150 kg	11-15	84-80%
2	1251-1500€	151-175 kg	5-10	79-75%
1	1501-18.. €	176-200 kg	<5	74-70%

Tabela A6 2 – Aplicação do Método dos Objetivos Ponderados (5 classes de pontuação)

Objetivo	Peso relativo	Uni	Solução 1.1			Solução 1.2			Solução 1.3			Solução 2			Solução 3		
			M	P	M	M	P	V	M	P	V	M	P	V	M	P	V
Custo	35%	€	886,9	4	1,4	934,7	4	1,4	882,5	4	1,4	764,2	4	1,4	1 766	1	0,35
Peso	35%	kg	171,8	2	0,7	174,3	2	0,7	164,8	2	0,7	164,2	2	0,7	120,5	4	1,4
Tempo vida	25%	ano	12	3	0,75	15	3	0,75	12	3	0,75	12	3	0,75	25	5	1,25
Ef. SS	5%	%	80	3	0,15	80	3	0,15	80	3	0,15	77	2	0,1	89	4	0,2
Valor Global de "utilidade"			3,0			3,0			3,0			2,95			3,20		

Tabela A6 3 - Escala de pontuações de 10 classes

Pontuação	Custo (€)	Peso (kg)	Tempo Vida Útil baterias (anos)	Eficiência do Sub- Sistema (%)
10	<700€	<100 kg	27-29	>95%
9	701-800€	100-115 kg	24-26	95-93%
8	801-900€	116-130 kg	21-23	92-90%
7	901-1000€	131-145 kg	18-20	89-87%
6	1001-1200€	146-160 kg	15-17	86-84%
5	1201-1400€	161-175 kg	12-14	83-81%
4	1401-1600€	176-190 kg	9-11	80-78%
3	1601-1800€	191-205 kg	6-8	77-75%
2	1801-2000€	206-220 kg	3-5	74-72%
1	>2000€	221-250 kg	<3	<71%

Tabela A6 4 - Aplicação do Método dos Objetivos Ponderados (10 classes de pontuação)

Objetivo	Peso relativo	Uni	Solução 1.1			Solução 1.2			Solução 1.3			Solução 2			Solução 3		
			M	P	M	M	P	V	M	P	V	M	P	V	M	P	V
Custo	35%	€	886,9	8	2,8	934,7	7	2,45	882,5	8	2,8	764,2	9	3,15	1 766	3	1,05
Peso	35%	kg	171,8	5	1,75	174,3	5	1,75	164,8	5	1,75	164,2	5	1,75	120,5	8	2,8
Tempo vida	25%	ano	12	4	1	15	5	1,25	12	4	1	12	4	1	25	8	2
Ef. SS	5%	%	80	4	0,2	80	4	0,2	80	4	0,2	77	3	0,15	89	7	0,35
Valor Global de "utilidade"			5,8			5,7			5,8			6,1			6,2		

Anexo VII – Conceitos acerca de Dinâmica de Veículos *3-Wheelers*

O anexo VII refere alguns aspetos relacionados com veículos de 3-Rodas, como por exemplo, as configurações usadas, o seu comportamento dinâmico e outros aspetos a considerar no dimensionamento como a localização do centro de massa.

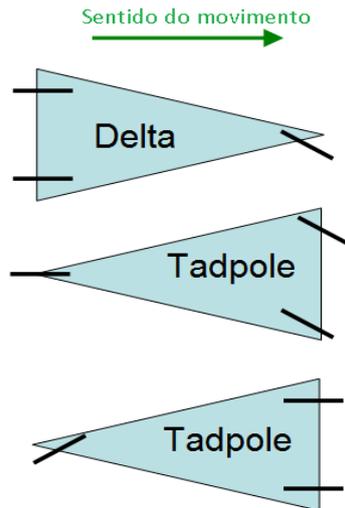
Veículos de 3-rodas (“*Three-Wheelers*”)

Conhecidos também como *trikes*, *three-wheelers*, os veículos com 3 rodas possuem duas rodas equidistantes do eixo longitudinal e uma roda sobre este eixo. Estes estão muitas vezes associados à ideia de veículos mais pequenos e energeticamente eficientes. Para esta ideia contribui o facto de estes veículos serem geralmente mais leves (chassis simplificados e de menor massa), o que requer uma potência menor para a locomoção. Os defensores destes veículos geralmente apontam argumentos como: chassis simplificados que traduzem, menores custos de produção e características de comportamento dinâmico superiores (viragem); já os opositores apontam que estes veículos são mais propensos ao capotamento que os veículos de quatro rodas. Ambas as opiniões tem valor e é verdade que os veículos de 3 rodas são mais leves e tem menos custos de produção, no entanto, quando mal dimensionados ou usados na aplicação errada, o uso de uma configuração de 3 rodas pode ser desastrosa. No entanto, cuidadosamente dimensionada e aplicada, a configuração 3 rodas pode trazer resultados superiores aos veículos de 4 rodas. Hoje em dia, os novos veículos com 3 rodas com rodas inclináveis tem uma condução que se aproxima das motos, transportando-os para uma nova categoria de locomoção em que são criados veículos de menor massa, melhores consumos de combustível e capacidades superiores de viragem.

Tipos de configurações dos veículos de 3 rodas

Os veículos de 3 rodas podem adotar duas (2) configurações possíveis, como mostra a Figura A7 – I.

- 1 roda frontal + 2 rodas traseira (conhecido como “*regular trike*” ou “*Delta*”)
- 2 rodas frontais + 1 roda traseira (conhecido como “*reverse trike*” ou “*Tadpole*”)



A7 1 - Regular trike (Delta) e reverse trike (Tadpole)

Esta última configuração tem vindo a ser privilegiada em relação à primeira pois apresenta duas principais vantagens: maior segurança em curva e em travagem, e comportamento aerodinâmico superior.

Comportamento Dinâmico

O controlo do comportamento de um veículo é de extrema importância para que a circulação deste seja segura, tanto para o condutor como para os outros veículos que circulam na via pública. Assim, é de elevada importância a determinação das forças que serão produzidas num veículo durante uma manobra, numa determinada condição, e sua resposta a estas solicitações. Para estas situações geralmente são usadas análises dinâmicas (considera-se aceleração e os efeitos de inércia – análise muito complexa) e análises “quasi-estáticas”, que significa que para um dado instante, podemos assumir esse problema de uma forma estática.

Nos pontos seguintes ir-se-ão abordar algumas situações de circulação, tais como, a estabilidade do veículo e o seu comportamento linha reta (em caso de travagem ou aceleração) e em curva (com velocidade constante), bem como a localização do centro de gravidade (CG).

Também se discute a importância da localização do centro de gravidade que adquire um carácter fundamental no *design* de um veículo de 3-rodas.

Além disso, no estudo do comportamento dinâmico existem outras características e termos específicos relacionados com o comportamento das rodas que são importantes para o estudo e compreensão desta matéria, como por exemplo, *side force*, *caster*, *camber*, *convergência*, (etc.) os quais não serão abordados nesta dissertação.

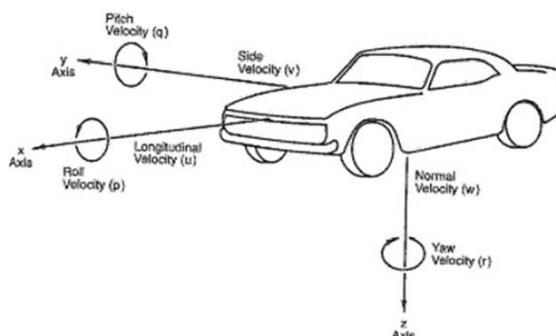
Estabilidade

Conhecido como *handling* na terminologia inglesa, a estabilidade de um veículo está sujeita a alguns movimentos que podem vir da ação do condutor, ou do tipo de pavimento em que circula. Estes movimentos podem ser devido a acelerações, travagens, descrição de curvas, reações do veículo às condições do piso ou mesmo devido à ação do vento.

Todos os componentes do veículo irão intervir no comportamento da sua condução, bem como alguns parâmetros tais como a distância entre os eixos (*wheelbase*), a largura do veículo (*track*), posicionamento do centro de massa, entre outros.

É especialmente relevante, a ação das suspensões que modificam, não só o comportamento do veículo em manobras mas também o conforto que o veículo irá ter, bem como o comportamento dos pneus. Embora a análise da influência das suspensões e dos pneus seja de elevada importância, esta não será estudada nesta dissertação devido à elevada complexidade que iria ser adicionada ao problema.

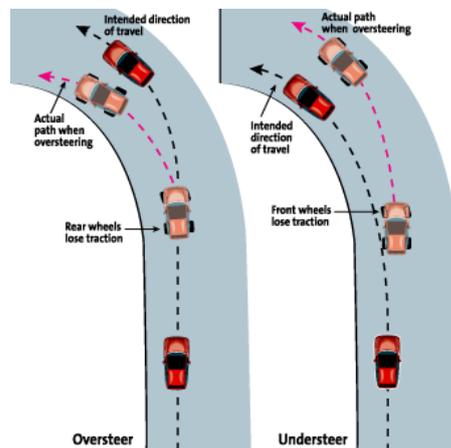
A imagem seguinte demonstra a aplicação de um sistema de eixos geralmente usado para definir as velocidades e acelerações a que um veículo está sujeito:



A7 II - Sistema de coordenadas (Milliken & Milliken, 1995).

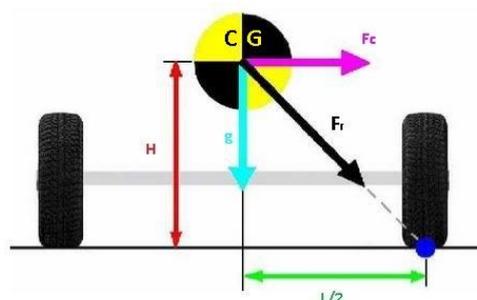
Comportamento em curva (sem inclinação das rodas)

Quando o condutor aplica uma movimento no volante para abordar uma curva, surge uma força centrífuga (sentido exterior da curva), bem como forças de atrito de sentido contrário (entre os pneus e o pavimento), fazendo com que o peso se mova sobre as rodas que estão no raio externo da curva. Ao curvar o comportamento do veículo pode ser de 3 tipos: subviragem (*understeer*), sobreviragem (*oversteer*) e neutro. No caso de subviragem será necessário aumentar o ângulo de direção durante a curva (o veículo virará “menos” do que o previsto). Já na sobreviragem acontece o oposto, ou seja, será necessário diminuir o ângulo de direção do volante. No caso de o comportamento ser neutro, então não é necessária nenhuma correção do ângulo de direção (Figura A7 – III). Para mais fácil entendimento observar a figura seguinte:



A7 III - Situação de subviragem e sobreviragem (The Star Online, 2005)

Abordando inicialmente um veículo de 4 rodas, representado na Figura A7 - IV (vista de trás).



A7 IV - Comportamento em curva (forças, distâncias e centro de gravidade) (Ethier, 2015)

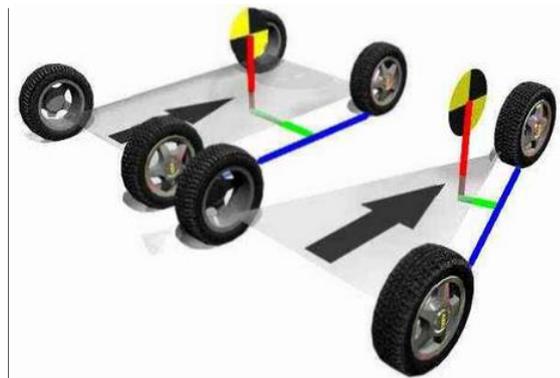
Se considerarmos que curva para a esquerda por exemplo, é possível imaginar a força centrífuga (F_c) aplicada no centro de gravidade (CG), enquanto o peso do veículo exerce uma força descendente resultante da força da gravidade (g).

A força centrífuga (F_c) tende girar o veículo para a direita sobre o ponto imaginário azul enquanto a força da gravidade (g) tende a mantê-lo no solo. Estas duas forças combinadas formam a força resultante (F_r).

A propensão para o capotamento é determinada pela relação entre a altura do centro de massa (H) e a distância do CG até à linha imaginária azul ($L/2$). Pela análise da figura pode-se ver que se (H) é maior que ($L/2$), a força resultante (F_r) alinha-se com o ponto imaginário azul o que poderá fazer com que o veículo gire sobre este ponto, levando ao capotamento.

Assim, esta relação entre a altura do centro de massa (H) e metade da distância entre as rodas ($L/2$), desempenha um papel crucial na determinação da estabilidade contra a capotagem em curva de um veículo de 4 rodas, sendo que o centro de massa (CM) deve ser o mais baixo possível por forma a obter uma margem de segurança contra o capotamento.

Ora, no caso de um veículo de 3 rodas a situação é ligeiramente diferente pois o ponto imaginário azul encontra-se numa linha imaginária entre a roda “solitária” e as rodas simétricas (como pode ser observado na abaixo), ou seja, o veículo terá tendência a capotar sobre essa linha azul.



A7 V - Comparação entre veículo 4 e 3 rodas (Ethier, 2015).

Analisando a Figura A7 – V pode-se ver que a distância ($L/2$) é proporcionalmente menor num veículo de 3 rodas que num veículo de 4 rodas. Assim a altura do centro de massa (linha vermelha) é proporcionalmente maior, diminuindo a relação entre (H) e ($L/2$), o que reduz a margem de segurança para o capotamento.

Distribuição do peso/Localização do centro de gravidade num veículo 3-Rodas

Pelo anteriormente referido, é fácil concluir que a localização do centro de gravidade é uma especificação crucial que se deve ter em conta no dimensionamento destes veículos. Assim sendo, todos os componentes devem ser dispostos de forma a situar o centro de massa num ponto específico. Desta forma, é importante que no projeto de um veículo de 3 rodas, o centro de massa (CM) seja colocado o “mais baixo” possível e perto das rodas simétricas para, deste modo, aumentar o (L/2) e diminuir o (H) por forma a aumentar a resistência ao capotamento em curva. No entanto, o centro de massa não deve ser colocado exatamente sobre as rodas simétricas por forma a evitar os fenómenos limite da aceleração e da travagem (este caso acontece para veículos motorizados, i.e., quando os veículos possuem grande capacidade de aceleração).

Segundo (Prof. Starr, 2006), considerando a rigidez dos pneus igual para todas as rodas, a distribuição do peso de um veículo de 3-rodas *reverse trike* (longitudinalmente) deverá obedecer às seguintes equações:

$$LG = \frac{WB}{3} , \text{ distância do eixo frontal ao centro de gravidade/massa.}$$

$$W_{frente} = \frac{2}{3} \cdot W , \text{ peso nas rodas dianteiras (1/3 do peso para cada roda).}$$

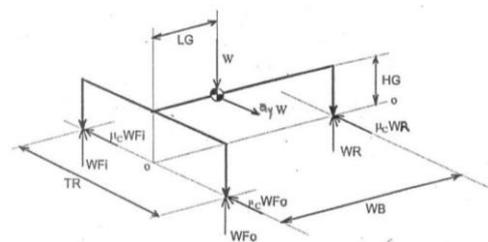
$$W_{trás} = \frac{1}{3} \cdot W , \text{ peso na roda traseira.}$$

Onde:

LG: distância entre o eixo frontal e o centro de massa.

WB: distância entre eixos

W: peso total do veículo



A7 VI - Diagrama de corpo livre de um veículo 3-rodas (Prof. Starr, 2006)

É o caso do veículo VEECO RT (*reverse trike*) desenvolvido em colaboração com a Universidade Superior de Engenharia de Lisboa, um elétrico desportivo que possui um centro de gravidade extremamente baixo, contando com uma distribuição de 70% sobre o eixo dianteiro e 30% sobre o eixo traseiro (VEECO, 2015).

Suspensões

As suspensões podem ser do tipo eixo rígido, independente (cada roda funciona isoladamente) e semi-independente.

As suspensões independentes diferem das suspensões de eixo rígido pois o movimento vertical de cada roda não interfere no movimento da roda oposta, ou seja, as rodas atuam isoladamente uma da outra. Dentro deste tipo de suspensão destacam-se:

- *Double-A-Arm* ou *Double Wishbone* (muito utilizadas, permitem movimentos verticais e limitam movimentos longitudinais durante acelerações e travagens)
- *MacPherson*: atualmente uma das mais utilizadas na dianteira de veículos de passeio e pequeno-médio porte, com tração dianteira.

Estes dois tipos de suspensão são atualmente os mais utilizados, quer pela sua performance, quer pela sua simplicidade de construção e conseqüentemente o preço.

Suspensão *MacPherson*



A7 VII - Representação da estrutura *MacPherson* (YouWheel, 2014).

Idealizada por Earle S. Macpherson é uma derivação da suspensão *Double Wishbone*. Possui uma configuração simples e é mais compacta (horizontalmente, diminuindo assim a largura do veículo), dando mais espaço interior ao veículo. Esta suspensão também apresenta uma redução

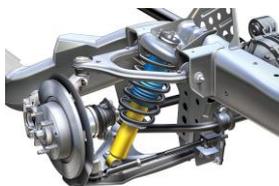
da massa não-suspensa, o que reduz a massa global do veículo, aumenta a aceleração deste e também proporciona uma condução mais confortável.

Outra vantagem é a facilidade de fabrico, bem como o baixo custo associado, facilidade de montagem, quantidade reduzida de componentes e boa distribuição das cargas do veículo (laterais e longitudinais). A fixação superior ocorre diretamente no chassi e a fixação inferior é feita diretamente na manga de eixo (“stub axle”) o qual engloba o eixo e a chumaceira da roda.

A sua principal desvantagem é a grande altura do conjunto e, pelo facto de ter fixações ao chassi, existe a necessidade quase obrigatória do uso de um chassi monobloco.

Suspensão *Double Wishbone*

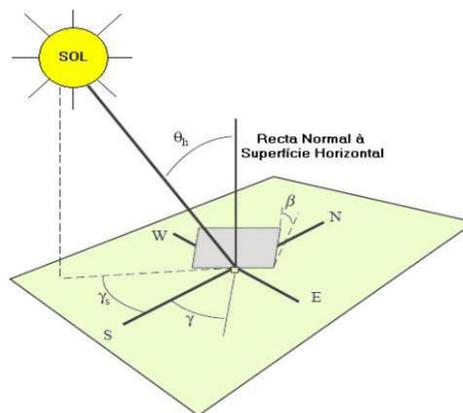
Neste tipo de suspensão a manga de eixo da roda é ligada ao chassi por duas estruturas triangulares (daí o nome “suspensão de triângulos sobrepostos”). Se os triângulos superior e inferior tiverem o mesmo comprimento e forem dispostos paralelamente, a roda oscila sem variar o ângulo de convergência e de camber (por outras palavras a roda estará sempre paralela ao solo). No caso de o braço superior ser mais curto, a roda não se move apenas verticalmente, existindo um camber negativo, gerando a área de contacto do pneu com o solo de modo a proporcionar acréscimo de estabilidade. As vantagens são o aumento da estabilidade (no caso do braço superior ser curto) e versatilidade (pode ser colocado como suspensão traseira ou dianteira). As desvantagens são o preço, necessitam de mais espaço horizontalmente, e são mais complexas (comparativamente às suspensões *MacPherson*).



A7 VIII – Representação de uma suspensão do tipo *Double Wishbone*

Anexo VIII – Conceitos Geometria Sol/Terra

A variação da posição da Terra em relação ao Sol ao longo do ano determina os ângulos de inclinação e orientação dos painéis solares. O ângulo de incidência dos raios solares numa superfície é importante para quantificar a energia proveniente do Sol, e é dependente sobretudo de fatores geográficos e de ângulos geométricos entre a superfície e os raios solares. As relações geométricas que definem a geometria Sol/Terra são: latitude do local (ϕ), a declinação solar (δ), a inclinação da superfície (β), o ângulo azimutal (γ) e o ângulo horário (ω), conforme a Figura A8-I:



A8 I - Representação dos ângulos solares (Energia Solar, 2015).

O ângulo de incidência da radiação solar (θ), num plano pode ser obtido através da equação seguinte:

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos \beta - \sin \delta \cdot \cos \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega$$

Onde,

ϕ : latitude do local;

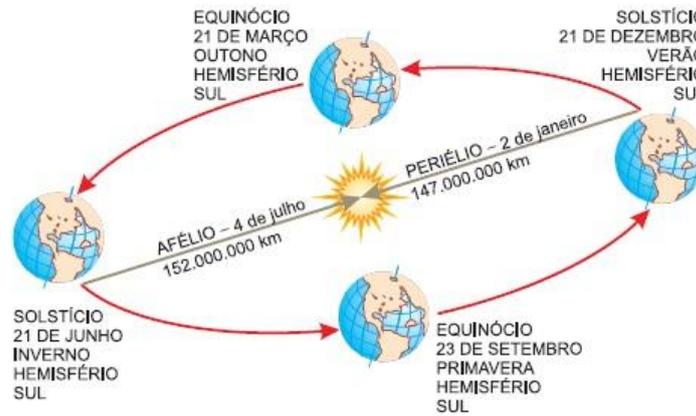
δ : declinação solar;

ω : ângulo horário;

β : ângulo da superfície em relação aos raios solares;

γ : Ângulo azimutal.

A trajetória da Terra tem uma forma elíptica. O plano que contém esta trajetória tem uma excentricidade de órbita que varia a distância Sol-Terra em $\pm 1,7\%$ (A8 - II). A linha do equador tem uma inclinação máxima, em relação ao plano da translação elíptica, de $\pm 23,5^\circ$:

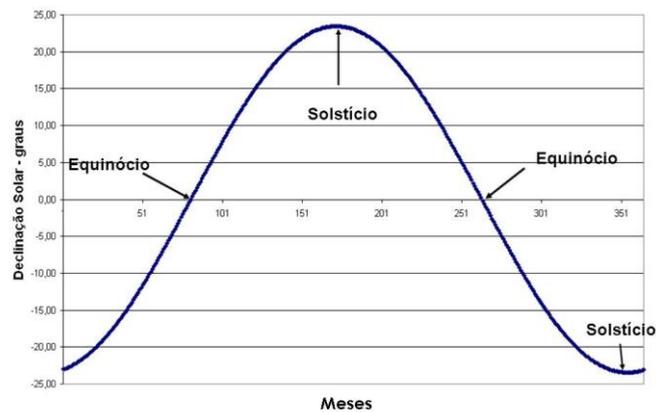


A8 II - Trajetória anual do planeta Terra em torno do Sol.

A declinação solar (δ) é definida como sendo a posição angular dos raios solares em relação ao plano equatorial do planeta Terra, variando com o dia do ano conforme apresentado a equação seguinte:

$$\delta = 23.45 \cdot \sin \left[360 \left(\frac{284 + dn}{365} \right) \right]$$

Variação da declinação solar ao longo do ano



A8 III - Variação da declinação (δ) ao longo do ano.