



SPSA: Solar-Plus-Storage-Analysis

Ferramenta de Análise de Viabilidade da Instalação de Sistemas Fotovoltaicos e Armazenamento de Energia em Baterias

EDUARDO ANDRÉ DOS SANTOS RODRIGUES SILVA

Novembro de 2017

*SPSA: Solar-Plus-Storage-Analysis- Ferramenta de
Análise de Viabilidade da Instalação de Sistemas
Fotovoltaicos e Armazenamento de Energia em
Baterias*

Eduardo André dos Santos Rodrigues Silva

Dissertação submetida para a obtenção do grau de
Mestre em Energias Sustentáveis

Instituto Superior de Engenharia do Porto

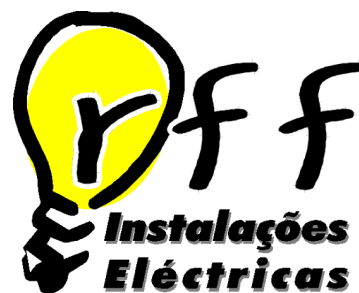
Departamento de Engenharia Mecânica

novembro de 2017

Relatório da Unidade Curricular de Dissertação/Projeto/Estágio do 2º ano do
Mestrado em Energias Sustentáveis

Candidato: Eduardo André dos Santos Rodrigues Silva, Nº 1150328, 1150328@isep.ipp.pt

Empresa: R.F.F, Instalações Elétricas, Unipessoal, Lda



Orientação Científica: Nídia de Sá Caetano, nsc@isep.ipp.pt
Coorientação Científica: António Augusto Areosa Martins, amartins@fe.up.pt
Supervisão: Rui Filipe Fonseca, r.f.f@sapo.pt

Mestrado em Energias Sustentáveis
Departamento de Engenharia Mecânica

A good engineer gets stale very fast if he doesn't keep his hands dirty.

Wernher von Braun

Agradecimentos

Aqui está a oportunidade de agradecer a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta dissertação.

Gostaria de agradecer à minha orientadora, Nídia Caetano e ao meu Coorientador António Martins, por todas as ideias, correções e contribuições que realizaram ao longo deste trabalho.

Agradeço a toda a equipa da empresa RFF, desde o meu orientador Rui Fonseca, que sempre forneceu todas as condições necessárias, e aos meus colegas de trabalho que se mostraram sempre disponíveis a ajudar.

Também agradeço ao meu colega de estágio que partilhou a sua casa, durante o meu tempo de estadia em Vila Real.

Por fim, um agradecimento especial aos meus pais, ao meu avô e namorada, por todo o esforço e apoio que me deram ao longo de todo o meu percurso académico. Bem como pelo tempo que me apoiaram à distância e por me terem permitido concluir esta etapa com sucesso.

Um grande OBRIGADO a todos!

Resumo

O desenvolvimento e a crescente importância das energias renováveis no *mix* energético estão a alterar profundamente o mercado energético a todos os níveis, em particular na produção e consumo de eletricidade. Duas das alterações mais significativas são a importância cada vez maior da geração distribuída, em que qualquer consumidor se pode tornar num produtor, e torna ainda possível a criação dos denominados edifícios com necessidades energéticas quase nulas (*NZEB*), visto que estes necessitam de gerar autonomamente a energia que consomem. No entanto devido à variabilidade na disponibilidade da energia renovável, por exemplo devido a fatores climáticos, é necessário recorrer-se a sistemas de armazenamento de energia de modo a aumentar a eficiência e competitividade dos sistemas.

Esta dissertação toma em conta estas questões, desenvolvendo uma ferramenta que permitirá dar ao utilizador e ao instalador/revendedor um meio de analisar qual o impacto técnico e económico que a incorporação de baterias terá em sistemas fotovoltaicos habitacionais. Assim, a ferramenta *SPSA – Solar-Plus-Storage-Analysis*, desenvolvida em folha de cálculo Excel, cria um perfil de consumo para um caso de estudo a especificar, e analisa parâmetros como a vida útil das baterias e o impacto da sua substituição, bem como faz uma análise económica entre o sistema convencional (sem armazenamento) e um sistema com armazenamento.

Com a ferramenta desenvolvida, foram analisados casos de estudo tipificando habitações frequentes, de modo a comparar o comportamento de baterias de chumbo-ácido com as de lítio. Na análise realizada foi possível constatar que, atualmente, as baterias de chumbo-ácido apresentam maior rentabilidade quando comparadas com as de lítio, mesmo considerando a sua vida útil inferior. O principal fator limitante das baterias de lítio encontra-se no seu preço, pois o seu elevado custo é dificilmente amortizável ao longo da sua vida útil. Além do mais, foi possível constatar que os sistemas híbridos ainda não conseguem competir com os sistemas tradicionais, pois independentemente da tecnologia de armazenamento usada, o seu custo adicional não consegue sobrepor-se à sua mais valia técnica.

As metodologias desenvolvidas no programa permitem analisar qualquer tipo de sistema híbrido que seja instalado num edifício ou habitação, incorporando em si todas as variáveis que terão impacto económico para o utilizador do sistema.

Palavras-Chave

Chumbo-ácido, energia fotovoltaica, ferramenta de análise, lítio, *NZEB*, otimização

Abstract

The development and increasing importance of renewable energies in the energy mix are changing the energy market, particularly in the production and consumption of electricity. Two of the main changes are the increased relevance of distributed generation in which the consumer becomes also a producer, and that makes possible the creation of the so-called Near Zero Energy Buildings (NZEB), as they need to produce the energy they consume. However due to the variability in the availability of renewable energies, for example due to weather variations, it is necessary to use energy storage systems to increase the usable energy and improve the efficiency and competitiveness of energy generation systems.

This dissertation considers those questions, by developing a tool that allows the users and/or the suppliers/sellers to analyze the technical and economic impacts that the incorporation of batteries has in home photovoltaic systems. Therefore, the SPSA – Solar-Plus-Storage-Analysis tool, developed in Excel environment worksheet, creates a consumption profile for a specific case study, and analyzes parameters such as the useful life of the batteries and the impact of their replacement, and performs an economic analysis between a conventional system (without storage) and a system with storage.

With the developed tool, different case studies representing typical households were analyzed to compare the behavior of systems with lead-acid batteries or with lithium batteries. In the results of the simulations performed, it was possible to verify that currently lead-acid batteries have higher profitability when compared to lithium batteries, even considering their smaller useful life. The main limiting factor of lithium batteries lies in their price, because their high cost makes the amortization difficult over its useful life. Moreover, it was possible to verify that the hybrid systems still cannot compete with the traditional systems, because regardless of the storage technology used its additional cost cannot overcome its technical advantage.

The methodologies developed in the program allow the analysis of any type of hybrid system that is incorporated in a building or, incorporating all the relevant variables that have an economic impact to the owner of the system.

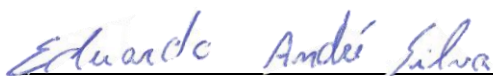
Keywords

Analysis tool, lead-acid, lithium, NZEB, optimization, photovoltaics

Declaração

Eduardo André dos Santos Rodrigues Silva declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas, com identificação da fonte.

5 de novembro de 2017


Assinatura

Índice

ÍNDICE	XV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVII
ÍNDICE DE TABELAS	XIX
NOMENCLATURA	XXI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	1
1.2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS.....	2
1.3. CALENDARIZAÇÃO.....	4
1.4. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO.....	4
2. ESTADO DA ARTE	7
2.1. INTRODUÇÃO.....	7
2.2. EDIFÍCIOS COM NECESSIDADES ENERGÉTICAS QUASE NULAS (NZEB).....	9
2.3. TIPOLOGIAS DE SISTEMAS DE MICROGERAÇÃO.....	10
2.4. SISTEMAS DE PRODUÇÃO RENOVÁVEL.....	13
2.5. SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO.....	21
2.6. MODELO DE LONGEVIDADE DAS BATERIAS.....	29
2.7. CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO TÉRMICO.....	34
2.8. MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO.....	35
3. DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA DE CÁLCULO	37
3.1. FERRAMENTA DE PROGRAMAÇÃO.....	38
3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO DO PROGRAMA.....	38
3.3. ESTIMATIVA E DISTRIBUIÇÃO DOS CONSUMOS.....	45
3.4. SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	50
3.5. SISTEMA DE ARMAZENAMENTO.....	51
3.6. INJEÇÃO DE ENERGIA NA REDE.....	58
3.7. DADOS ECONÓMICOS.....	59
3.8. MODELO DE CÁLCULO DE VIDA ÚTIL.....	60
3.9. AVALIAÇÃO ECONÓMICA.....	66
4. CASO DE ESTUDO	69
4.1. CARACTERIZAÇÃO CASO DE ESTUDO.....	69
4.2. CASA MODELO COM ARMAZENAMENTO EM BATERIAS DE LÍTIO.....	80
4.3. VERIFICAÇÃO DE RESULTADOS.....	84
4.4. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	85

5. CONCLUSÕES	91
5.1. TRABALHOS FUTUROS.....	94
REFERÊNCIAS.....	95
ANEXO 1.....	99
ANEXO 2.....	111

Índice de Figuras

Figura 1- Esquema de sistema <i>Grid-Tie</i> (Maehlum, 2013).....	11
Figura 2 - Esquema de sistema <i>Off-Grid</i> (Maehlum, 2013).....	12
Figura 3 - Esquema de sistema híbrido (Maehlum, 2013)	13
Figura 4- Potencial fotovoltaico na Europa (PV-GIS, 2012)	15
Figura 5 – Painel policristalino (solar, s.d.)	15
Figura 6 – Painel monocristalino (solar, s.d.).....	16
Figura 7 – Painel de silício amorfo (circuito, s.d.).....	16
Figura 8 – Coletor solar térmico (newhome, s.d.).....	18
Figura 9 – Coletor solar a vácuo (newhome, s.d.).....	19
Figura 10 - Atlas Europeu do vento à cota de 50 metros (Costa, 2004).....	20
Figura 11 – Aerogerador de eixo horizontal (Daviddarling, 2017).....	20
Figura 12 - Gerador eólico Darrieus (greenpoweruk, 2017)	21
Figura 13 – Gerador eólico Savonius (greenpoweruk, 2017)	21
Figura 14 – Curvas de descarga de várias tecnologias de baterias químicas	22
Figura 15 – Variação de tempo de descarga com a temperatura.....	23
Figura 16 – Variação da velocidade de autodescarga quando as baterias se encontram armazenadas	24
Figura 17 – Circuito equivalente de uma célula de bateria (Electropaedia, 2017).....	25
Figura 18 – Bateria de íões de lítio com construção em espiral (Electropaedia, 2017)	25
Figura 19 – Bateria de Chumbo com construção em placas lisas (Electropaedia, 2017).....	26
Figura 20 – Variação da capacidade de baterias de íões de Lítio com o ritmo de descarga (Electropaedia, 2017)	27
Figura 21 – Ciclo de vida em relação com o <i>DOD</i> (Electropaedia, 2017).....	28
Figura 22- Divisão da carga das baterias do modelo <i>KiBaM</i> (Haverkort, 2015)	30
Figura 23 – Tipologias de permutas de calor em depósitos de água quente (solaire-power, 2017). 35	
Figura 24 - Topologia síntese de um sistema híbrido	39
Figura 25 - Diferença horária entre vazio e fora de vazio (EDP, 2017b).....	44
Figura 26 - Diagrama com método de cálculo de consumos AQS.....	49
Figura 27 - Diagrama de modo de cálculo de necessidades de aquecimento.....	50
Figura 28 - Comparação dos ciclos de vida útil com diferentes <i>DOD</i> , das várias tecnologias.....	53
Figura 29 - Variação da capacidade de uma célula de lítio com a corrente de descarga (Panasonic, s.d.).....	54
Figura 30- Gráfico de comparação percentual de poupança	57
Figura 31 - Gráfico de comparação económica da substituição de baterias.....	58

Figura 32 - Comparação ciclos de vida experimentais vs teóricos para a bateria Solar AGM.....	61
Figura 33 – Capacidade de diferentes baterias Flooded normal.....	62
Figura 34 - Hierarquia da utilização de energia prevista pelo programa.....	63
Figura 35- Método de cálculo para a determinação da variação do SoC das baterias.....	64
Figura 36 - Perfil de consumo casa modelo	73
Figura 37 – Comparação energia necessária da rede no caso de estudo, com e sem armazenamento de baterias de Chumbo-ácido	79
Figura 38- Cash-Flow acumulado sistema com e sem armazenamento de baterias de Chumbo-ácido	80
Figura 39 - Comparação energia necessária da rede no caso de estudo, com e sem armazenamento de baterias de lítio	83
Figura 40- Cash-Flow acumulado sistema com e sem armazenamento, bateria de lítio.....	83
Figura 41 - Gráfico <i>cash-flow</i> acumulado dos três casos analisados	87
Figura 42 - Cash-Flow acumulado de diferentes perfis de consumo	89

Índice de Tabelas

Tabela 1- Organização das tarefas	5
Tabela 2 – Comparação entre os tipos de baterias mais usadas (Marcelino, 2012/2013)	9
Tabela 3 - Variáveis de decisão tendo em conta a configuração.....	41
Tabela 4 - Restrições a ter em consideração	41
Tabela 5 - Divisão das horas de consumo	46
Tabela 6 - Tabela com dados de consumo	47
Tabela 7 - Tabela de preenchimento dos dias de funcionamento de cada equipamento	47
Tabela 8 – Variação da capacidade com a corrente de descarga.....	54
Tabela 9 - Parâmetros para dimensionamento de cablagens (Carneiro, 2009)	56
Tabela 10 – Especificações técnicas das baterias usadas no programa.....	62
Tabela 11 - Dados da habitação do caso de estudo	70
Tabela 12 - Consumos médio de equipamentos domésticos (EDP, 2017a)	71
Tabela 13 - Tabela usada no programa para obter o consumo da casa modelo	72
Tabela 14 - Características painel fotovoltaico Luxor (LUXOR, 2017)	74
Tabela 15 - Produção fotovoltaica estimada pelo PV-GIS.....	75
Tabela 16 -Especificações técnicas Axpert AX-M 5000-48	76
Tabela 17 - Características Trojam T105RE.....	77
Tabela 18 - Características sistema híbrido com baterias de chumbo-ácido.....	78
Tabela 19 - Orçamento caso de estudo baterias de chumbo.....	78
Tabela 20 - Dados económicos caso de estudo baterias de Chumbo-ácido	80
Tabela 21 – Característcas LG Chen 10 kWh	81
Tabela 22 - Características sistema híbrido com baterias de lítio	81
Tabela 23 - Orçamento caso de estudo baterias de chumbo.....	82
Tabela 24 - Dados económicos caso de estudo baterias de Chumbo-ácido	84
Tabela 25- Comparação de resultados entre os programas SPSA e SAM	84
Tabela 26 - Resultados técnicos diferentes sistemas fotovoltaicos.....	86
Tabela 27 - Resultados económicos de diferentes sistemas fotovoltaicos	86
Tabela 28 - Resultados técnicos diferentes perfis de consumo	88
Tabela 29 - Resultados económicos de diferentes perfis de consumo	89
Tabela 30 - Variação de custo baterias de lítio VS bateria de chumbo	90
Tabela 31- Variação custo bateria de lítio vs sistema fotovoltaico convencional	90

Nomenclatura

Γ_R	–	Vida de carga útil	(Anos)
C_A	–	capacidade fornecida pela bateria quando sujeita a determinado I_R	(Ah)
C_p	–	Calor específico de um fluido	(kJ/kg°C)
C_R	–	Capacidade nominal	(Ah)
d_{atual}	–	Valor efetivo da descarga	(Ah)
d_{eff}	–	Efeitos do desgaste nas baterias	
D_R	–	Profundidade de descarga	(%)
$E_{\text{térmica}}$	–	Energia térmica armazenada	(kWh)
I_R	–	Corrente de descarga	(A)
L_R	–	Ciclo de vida para dada D_R e corrente de descarga I_R	(J/mol K)
L_T	–	Ciclo de vida de uma bateria	(m)
m	–	Massa	(kg)
t	–	Tempo	(dias)
T	–	Temperatura	(°C)
ΔT	–	Intervalo de temperatura	(°C)

Operadores

$\sum_{i=1}^n \dots$ – Somatório num dado intervalo de tempo

Abreviaturas

AC	–	Alternating Current
DC	–	Direct Current
DCP	–	Dispositivo de Controlo de Potência
DOD	–	<i>Depth of Discharge</i>
ESS	–	<i>Energy Storage System</i>
INE	–	Instituto Nacional de estatística
MPPT	–	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
NREL	–	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
NZEB	–	<i>Nearly Zero Energy Building</i>
OMIE	–	Operador do Mercado Ibérico de Energia
PWM	–	<i>Pulse-Width-Modulation</i>
SAM	–	<i>System Advisor Model</i>
SoC	–	<i>State of Charge</i>
SPSA	–	<i>Solar Plus Storage Analysis</i>
UE	–	União Europeia
UPAC	–	Unidades de Produção para Autoconsumo
UPP	–	Unidades de Pequena Produção

1. Introdução

1.1. Contextualização

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito do Mestrado em Energias Sustentáveis do Instituto Superior de Engenharia do Porto. O seu foco centra-se no armazenamento de energia em sistemas renováveis de dimensões habitacionais, tendo em conta todas as tecnologias, desde as mais tradicionais às emergentes.

A dissertação foi desenvolvida na empresa *R.F.F- Rui Filipe Fonseca Instalações Elétricas*. Esta empresa faz o projeto e instalação de sistemas de produção renovável, tais como sistemas fotovoltaicos, eólicos, geotérmicos e hídricos. Com a experiência da empresa, uma das áreas onde se constatou que existe um grande potencial ainda por aproveitar é a área do armazenamento de energia. Para entender a potencialidade técnico-financeira, foi realizada esta dissertação no âmbito da qual foram estudadas as várias tecnologias de armazenamento disponíveis, com o intuito de perceber quais as que se poderão aplicar na atualidade com resultados satisfatórios.

Com o objetivo proposto, o trabalho foi realizado tendo por base os sistemas de produção de energia renovável em pequena escala, que poderão beneficiar do uso de sistemas de armazenamento de energia ou como são denominados internacionalmente, *ESS (Energy Storage Systems)*. O enfoque do trabalho é na vertente da energia elétrica, no entanto será também

abordada a vertente térmica, devido à maior facilidade do armazenamento e implementação desta.

A microgeração ou mini-produção, para o caso de estudo, vai ser definida como a produção de calor ou eletricidade numa escala reduzida, quando comparada com as potências das centrais típicas a combustíveis fósseis. Este tipo de aplicação é usado em habitações, edifícios ou pequenos complexos de escritórios e a sua potência, pode ser na ordem das centenas de watt até algumas centenas de kilowatt, em Portugal é limitada por legislação até um valor máximo de 250 kW apenas na vertente elétrica (Ministério da Economia e Emprego, 2011).

Neste capítulo irão ser enumerados os tópicos desta dissertação numa perspetiva geral, enunciando os seus objetivos e motivações, bem como a estrutura do trabalho.

1.2. Motivação e objetivos

O consumo de eletricidade necessita de estar em perfeito sincronismo com a sua produção num dado momento. Este balanço é necessário de modo a garantir o funcionamento seguro e estável da rede elétrica. O armazenamento de energia pode ajudar a lidar com as flutuações entre a produção e o consumo, permitindo que a eletricidade seja armazenada, para ser utilizada em períodos de maior demanda, e tornando o uso de fontes de energia renovável mais apelativo e rentável.

A produção distribuída de energia tem aumentado nos últimos anos, devido à diminuição do preço dos sistemas de microgeração, principalmente os fotovoltaicos. Contudo, a introdução destes sistemas, mesmo contribuindo para a produção de energia renovável, ainda necessita de maior aceitação por parte das entidades que gerem a rede. O facto de as fontes de energias renováveis gerarem energia de um modo variável ao longo do tempo, e de essas variações não conseguirem ser previstas de um modo exato, faz com que a gestão de uma rede com uma alta penetração de renováveis seja muito difícil.

Atualmente, sem o uso de tecnologias de armazenamento de energia, quando se investe em fontes de energia renovável, acaba-se por duplicar o investimento, pois é necessário criar alternativas, normalmente com recurso a combustíveis fósseis, para satisfazer as necessidades, quando não existe recurso renovável. Com o uso de armazenamento, poderíamos mudar esta realidade, aumentando a eficiência da rede e diminuindo a necessidade de importação de energia, sendo a energia renovável armazenada quando gerada em excesso, para ser usada posteriormente. O

armazenamento de energia pode vir a suportar os planos da União Europeia (UE) para assegurar a segurança energética, o bom funcionamento do mercado interno e ainda trazer uma maior redução na emissão de carbono para a atmosfera. Aliando os sistemas de armazenamento com as fontes renováveis, a Europa conseguiria diminuir a importação de energia, melhorar a eficiência do sistema e, expectavelmente, diminuir o preço da energia (European Commission, 2017).

Com base nos factos anteriormente mencionados, e constatando que os edifícios consomem 40% da energia total produzida, a União Europeia emitiu a Recomendação (UE) 2016/1318, na qual definiu que até 2020 todos os edifícios novos devem ter necessidades energéticas quase nulas ou reduzidas, e ainda, que até 2018 os novos edifícios públicos também tenham de respeitar a condição anterior. Este consumo nulo ou baixo de energia deve ser alcançado recorrendo a fontes de energia renovável, sendo que este tipo de construção ficou denominado de *Nearly Zero-Energy Building (NZEB)* (European Commission, 2016).

Para conseguir atingir os objetivos propostos pela UE, é necessário que o uso de *ESS* seja generalizado, pois a integração de fontes renováveis em edifícios vai criar a necessidade de armazenar a energia excedente, de modo a estar disponível numa altura posterior, tornando assim a necessidade do uso de energia da rede mais reduzida.

O objetivo principal desta dissertação foi estudar todas as tecnologias de armazenamento químico atualmente disponíveis, tendo em consideração as limitações específicas de cada tecnologia. De modo a tornar os dados mais fáceis de entender e analisar, estes foram subdivididos em:

- Estudo das diversas tecnologias de armazenamento disponíveis;
- Análise do potencial de implementação em Portugal;
- Criação de perfis de consumos tipo (médios) para as habitações em Portugal;
- Desenvolvimento de uma ferramenta de análise de desempenho das baterias;
- Criação de um modelo de apresentação de dados;
- Validação e comparação de resultados obtidos.

1.3. Calendarização

A ordem de trabalhos prevista para esta dissertação, está apresentada na Tabela 1. As tarefas previstas seguiram os seguintes pontos fulcrais:

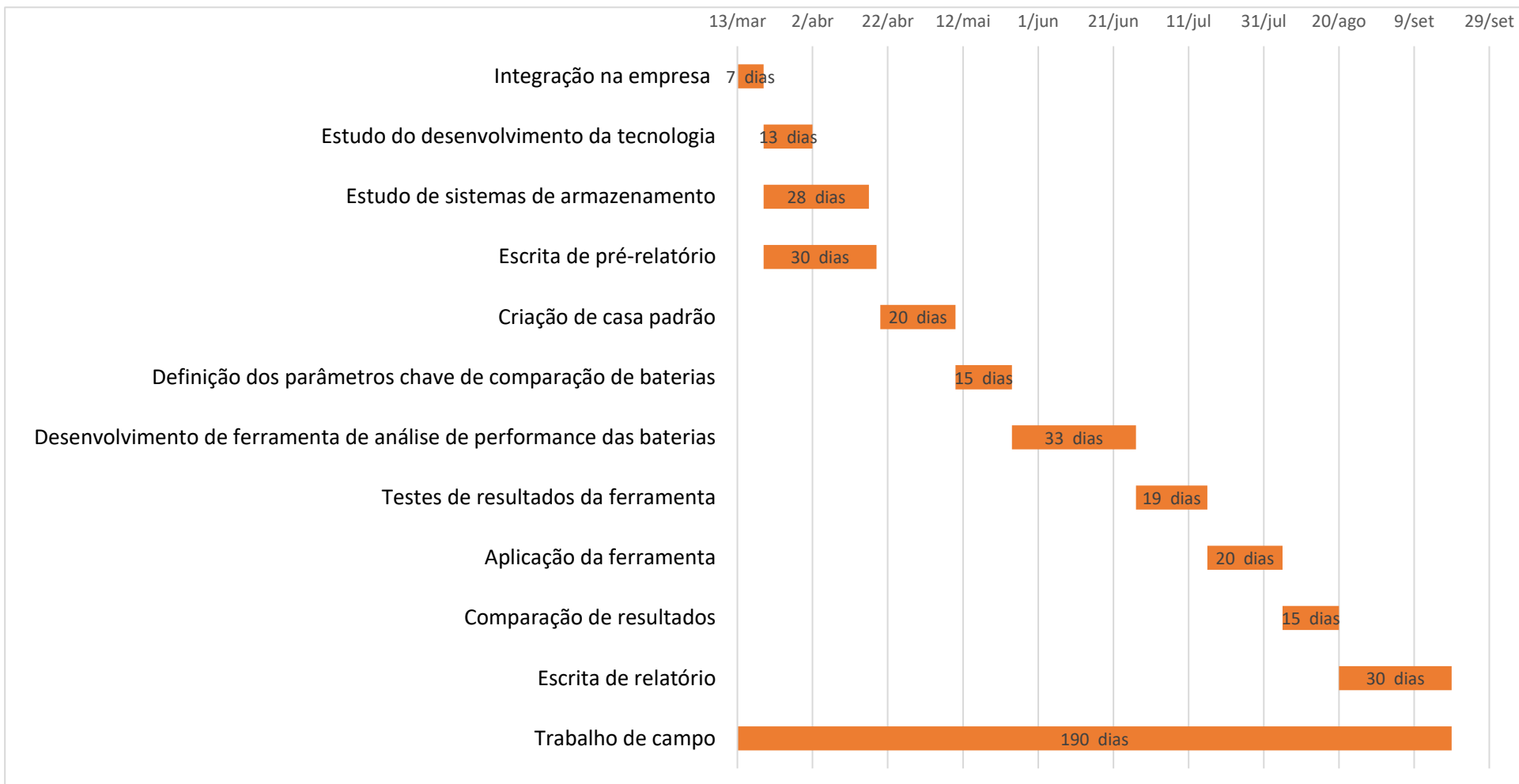
- Estudo da tecnologia disponível;
- Criação de consumos de casas modelo;
- Desenvolvimento da ferramenta de análise;
- Obtenção e validação de resultados.

Ao longo da execução do estágio existiram outras tarefas e trabalhos realizados, no entanto estes encontram-se inseridos dentro das categorias anteriormente referidas.

1.4. Organização do relatório

A estrutura deste relatório foi organizada da seguinte forma. No primeiro capítulo foi feita a introdução e enquadramento do trabalho, tendo ainda sido apresentados os objetivos e organização do texto da dissertação. No segundo capítulo, foi realizado o estado da arte de modo a perceber a evolução das tecnologias e dos métodos existentes. No capítulo seguinte, o terceiro, descreve-se um caso de estudo criado para ser usado como base de referência. Por fim foi desenvolvida uma ferramenta de análise de viabilidade técnico-económica de sistemas que usam baterias. No quarto capítulo foram elaborados e simulados casos típicos de habitações com diversos sistemas de armazenamento, seguindo-se a análise dos resultados obtidos. Finalmente, no capítulo 5 foram resumidas as principais conclusões do trabalho desenvolvido e apresentadas sugestões para trabalhos futuros.

Tabela 1- Organização das tarefas



2. Estado da Arte

2.1. Introdução

As fontes de energia renovável, podem ser definidas como fontes inesgotáveis de energia, não emitindo gases de efeito de estufa e não usando combustíveis fósseis, o que na atualidade constitui um grave problema devido ao que hoje conhecemos como aquecimento global.

No ano de 2015, apenas, foi instalada o dobro da capacidade de energias renováveis existente à data, sendo a China o país que mais investiu. Este fenómeno está relacionado com a diminuição dos custos de instalação de novos sistemas e com o desenvolvimento dos países emergentes, pois, estes ao contrário do que acontece nos países desenvolvidos, ainda não têm infraestruturas e quando as criam investem em sistemas de geração de energia renovável. O facto de os países emergentes estarem a tomar estas medidas, que podem ser descritas como pioneiras, está a mudar o mercado da energia a uma velocidade maior do que a prevista, sendo que se estima que o preço da energia eólica tenha diminuído cerca de um terço e o preço da energia fotovoltaica em 80%. (Vaughan, 2016)

As centrais de produção de energia renovável, salvo exceções como a grande hídrica, a geotérmica e a biomassa, geram energia de forma variável ao longo do tempo. Isto cria um problema para as redes de distribuição de energia, pois a energia gerada tem de ser consumida imediatamente. No entanto, atualmente com previsões meteorológicas mais precisas,

conseguimos ter uma melhor noção da produção renovável que poderemos ter, na obstante estas previsões ainda têm um grau de incerteza que não é aceitável para um sistema elétrico que por limitações técnicas tem de conseguir responder à procura em segundos.

Com a implementação das fontes de energia renovável, necessitamos então de sistemas de armazenamento de energia que evitem as flutuações na rede, e permitam que as fontes renováveis consigam ter maior presença no mercado. Existem diferentes tecnologias de *ESS*, com capacidade e modo de operação diferente: temos sistemas químicos como baterias, sistemas térmicos como depósitos térmicos e sistemas por energia potencial como a bombagem hídrica.

No entanto, nesta dissertação serão focadas as tecnologias que melhor se adaptam a sistemas de microgeração, pois o assunto tratado será relativo a sistemas de dimensão reduzida. O interesse neste tipo de sistemas está no aumento da eficiência e rentabilidade dos sistemas de energia renovável, pois o perfil de consumo das pequenas instalações é na sua grande maioria caracterizado por ter o consumo num regime temporal diferente da produção, principalmente quando são usados sistemas fotovoltaicos. Sendo assim, é necessário implementar sistemas *ESS*, de modo a disponibilizar a energia em qualquer altura que esta seja necessária, mesmo que em dado momento não exista produção ou que esta seja insuficiente para satisfazer as necessidades.

Com estes factos, os tipos de armazenamento que irão ser estudados serão as baterias químicas, neste caso as baterias de Pb e de *Li-ion*. A escolha destas baterias está relacionada com a maior disponibilidade das baterias e o maior avanço comercial e técnico destas. Na Tabela 2 são apresentados os vários parâmetros que as caracterizam.

Entre todas as baterias, a que mais se tem destacado é a bateria de *Li-ion*, mais especificamente a de LiNiMnCoO_2 (NMC) que têm sido aplicada nos carros elétricos que estão a ser comercializadas neste momento. Com a generalização do uso das baterias de *Li-ion*, estamos a assistir ao que pode ser definido como uma revolução na indústria energética. O armazenamento de energia elétrica, que até há pouco tempo era considerado uma alternativa pouco viável, está a ser introduzido em algumas redes elétricas, conseguindo manter a rede elétrica de pequenas ilhas e ajudar na manutenção das condições operacionais de grandes cidades. Um dos melhores exemplos da aplicação desta tecnologia é a ilha de Kauai no Hawai; esta ilha, recorrendo a um parque solar com cerca de 53 000 painéis fotovoltaicos e a um *ESS* denominado *Tesla Powerpack* com 13 Megawatt de armazenamento, consegue fornecer toda a energia que a ilha necessita, e tem uma autonomia para 3 dias completos sem céu limpo (Hanley, 2017).

Tabela 2 – Comparação entre os tipos de baterias mais usadas (Marcelino, 2012/2013)

	<i>Potência específica</i>	<i>Energia Específica</i>	<i>Ciclos de vida</i>	<i>Eficiência (%)</i>	<i>Tempo de carregamento (h)</i>	<i>Aplicações</i>
<i>Chumbo-ácido</i>	180 W/kg	30-40 Wh/kg	400-800	70-92	8-16	Armazenamento de energia, Veículos
<i>LiNiMnCoO₂</i>	250-340 W/kg	90-160 Wh/kg	1200	94	2-4	E-Bike, Veículos elétricos
<i>LiFePO₄</i>	>300 W/kg	90-110 Wh/kg	2000	92	1-2	Aplicações de grande corrente

Deste exemplo, o que podemos aplicar aos nossos casos de estudo, é o facto de os sistemas de armazenamento na sua grande maioria serem modulares, ou seja, podemos utilizar sistemas já existentes e usá-los em aplicações de microgeração. Esta combinação de tecnologias vai poder ser usada para permitir a criação das casas com necessidades energéticas quase nulas (*NZEB*)

2.2. Edifícios com necessidades energéticas quase nulas (*NZEB*)

A Directiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, que é relativa ao desempenho energético dos edifícios, define que um “Edifício com necessidades quase nulas de energia”, é um edifício com um desempenho energético elevado, onde as necessidades de energia são quase nulas ou muito pequenas, deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis. No entanto, neste momento esta definição ainda é muito imprecisa, pois a comissão europeia não indica quaisquer requisitos mínimos que devam ser usados para o cálculo da eficiência energética dos edifícios, ficando cada Estado-Membro responsável por definir o significado das expressões como “desempenho energético muito elevado” ou “necessidades muito pequenas”, e assim definir os seus próprios limites. A definição do conceito de *NZEB*, foi propositadamente criada para ser vago, pois não seria justo impor limites gerais a todos os Estados-Membros, se nem todos têm o mesmo potencial solar, fotovoltaico ou de qualquer outra fonte renovável, bem como se o poder económico é diferente (Veiga, 2015).

Segundo esta mesma diretiva, está previsto que, pelo menos até 3 de dezembro de 2020, todos os edifícios novos tenham necessidades quase nulas de energia. Os edifícios públicos, após 2018, terão obrigatoriamente de apresentar consumos zero de energia (Veiga, 2015).

A importância de inserir os edifícios *NZEB*, nesta dissertação relaciona-se com o impacto que as tecnologias de armazenamento irão ter para ser possível atingir os objetivos propostos neste tipo de construção sustentável. Embora o objetivo desta dissertação não seja identificar o tipo de *ESS* mais indicado para os *NZEB*, como irão ser estudadas as várias tecnologias e o comportamento destas aliadas a sistemas de produção renovável, poderão ser retiradas conclusões válidas para este tipo de aplicação.

2.3. Tipologias de sistemas de microgeração

Os sistemas de microgeração tem diferentes tipos de aplicação, diferindo entre si o tipo de utilização e os componentes necessários. Sendo assim, existem três tipos: os sistemas ligados à rede (*Grid-Tie*), os sistemas que não têm qualquer tipo de ligação à rede (*Off-Grid*) e por último, os denominados sistemas híbridos, que como o nome indica são uma junção dos dois sistemas anteriores.

A relevância para a caracterização de cada um dos tipos de sistemas, está no facto de cada um apresentar modos de operação diferentes, ter componentes distintos e necessitar ou não de sistema de armazenamento. O nível de dependência em armazenamento é diferente em cada um deles, sendo que o sistema *Grid-Tie*, não necessita de qualquer tipo de armazenamento, como irá ser referido mais à frente.

Neste capítulo, o tipo de fonte de energia renovável considerado será a energia fotovoltaica, pois esta é a tecnologia mais usada em sistemas de microgeração, devido ao seu preço mais acessível e facilidade de instalação.

2.3.1 Sistemas ligados à rede (*Grid-Tie*)

Os sistemas ligados à rede são os mais comuns na atualidade, a sua fácil implementação, o menor investimento quando comparado com os restantes, e a sua segurança, fazem deste a escolha preferencial para sistemas de autoconsumo.

Este sistema permite a poupança na conta da eletricidade pelos seus proprietários, uma vez que reduz os consumos de energia proveniente da rede e, em caso de produção em excesso, a energia

é injetada na rede, com retorno monetário por parte da empresa que fornece energia, acabando a rede por servir como uma bateria virtual.

Na Figura 1 podemos observar os constituintes básicos de um sistema com conexão à rede, e constatar a sua grande simplicidade. No entanto, é de salientar que no esquema não estão demonstradas as medidas de proteção, de modo a simplificar a imagem aos seus constituintes principais.

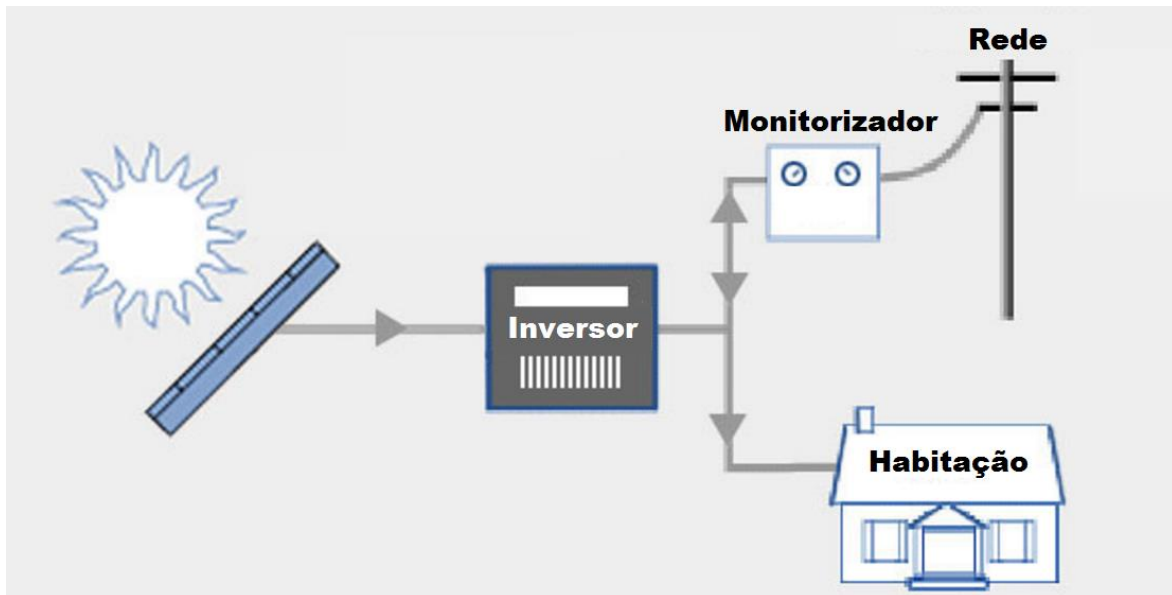


Figura 1- Esquema de sistema *Grid-Tie* (Maehlum, 2013)

Os sistemas ligados à rede, no entanto, apresentam uma grande limitação económica, ou seja, estão dependentes do preço pago pela injeção de energia na rede. No caso português já existiram grandes incentivos às unidades de pequena produção (UPP) de energia a partir do ano de 2008, chegando a ser pagos 0.65 €/kWh pela energia injetada na rede (Portal Energia, 2008). Contudo com a maior incorporação de sistemas fotovoltaicos, e com a diminuição do preço de compra dos sistemas, o preço da injeção de energia na rede diminuiu, sendo que atualmente o preço ronda um terço do preço pago pelo consumidor, o que acaba por diminuir a rentabilidade do investimento. Este problema não acontece em todos os casos, pois quando as horas de maior consumo coincidem com as horas de produção fotovoltaica, nenhuma energia irá ser injetada na rede e será evitada a compra de energia mais cara. Na obstante, quando a produção fotovoltaica está desfasada do consumo, como grande parte da energia é injetada na rede a um preço reduzido a viabilidade económica irá ser afetada. Devido a isto, estão a ser estudados e implementados sistemas híbridos que como irá ser demonstrado adiante, conseguem combater este problema.

2.3.2 Sistemas desconectados da rede (*Off-Grid*)

Até há pouco tempo, antes do surgimento dos sistemas híbridos, os sistemas desconectados da rede eram a única alternativa aos *Grid-Tie*. Contudo este tipo de alternativa normalmente não era equacionado nos casos em que existia acesso à rede, devido à necessidade da existência de baterias de modo a garantir acesso permanente à eletricidade. Ainda aliado a este fator, as baterias nestas aplicações, necessitam de ser substituídas no máximo de 10 em 10 anos, são de operação mais complicada, têm tendência a diminuir a eficiência global do sistema, e por último, o investimento necessário é superior aos sistemas conectados à rede.

Normalmente os sistemas *Off-Grid* são usados quando não é possível ter acesso à rede, a rede não é fiável, ou ainda quando o custo de fazer a ligação à rede é muito superior ao da compra de uma alternativa deste género. Na Figura 2 pode-se observar um sistema *Off-Grid* típico.

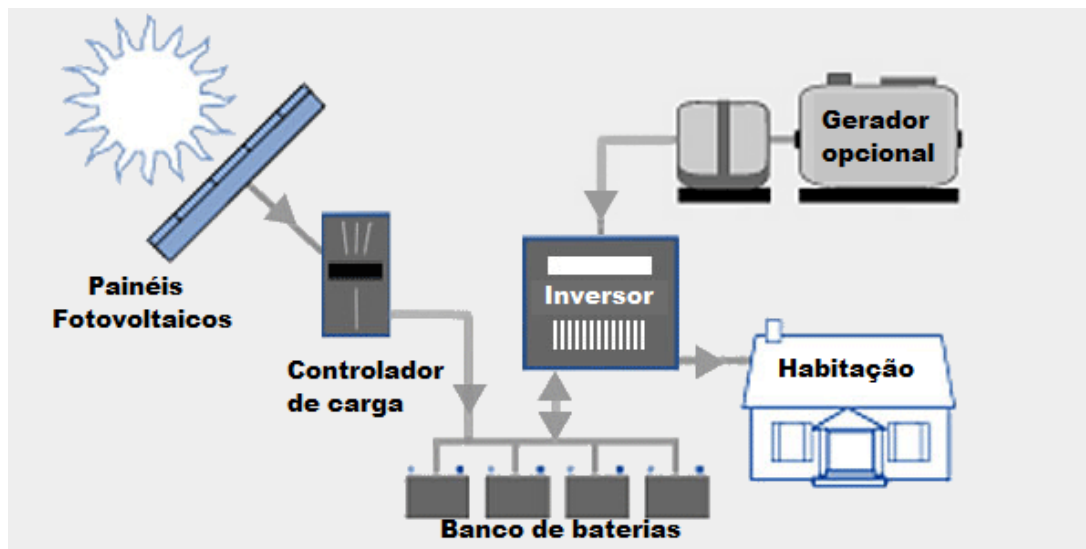


Figura 2 - Esquema de sistema *Off-Grid* (Maehlum, 2013)

Como os sistemas *Off-Grid* não têm qualquer tipo de ligação à rede, necessitam de uma alternativa para quando o recurso renovável é insuficiente para as necessidades, que como podemos observar no esquema anterior, normalmente é um gerador a combustão.

Como irá ser demonstrado nesta dissertação, a aplicação de tecnologias mais recentes que vêm substituir as baterias de chumbo-ácido, promete alterar a viabilidade dos sistemas *Off-Grid*, por trazerem maior fiabilidade, maior durabilidade, e menor custo por unidade de energia armazenada.

2.3.3 Sistemas híbridos

Os sistemas híbridos combinam o melhor dos sistemas *Grid-Tie* e dos *Off-Grid*. Este tipo de sistema opera primeiramente desconectado da rede, dando uso do *ESS*, mas usa a rede como um *backup*, sempre que necessário.

A operação deste tipo de sistemas pode ser muito variada, pois o comportamento de cada sistema é definido pelo utilizador. Normalmente, usa-se o armazenamento da energia renovável excedente no *ESS*, e só quando este se encontra totalmente carregado é que ocorre injeção de energia elétrica na rede. Quando o sistema *ESS* se encontra descarregado, a energia necessária irá ser proveniente da rede, sendo mais tarde recarregado o *ESS* quando existir de novo produção renovável. Na Figura 3 está representado um esquema de um sistema híbrido fotovoltaico.

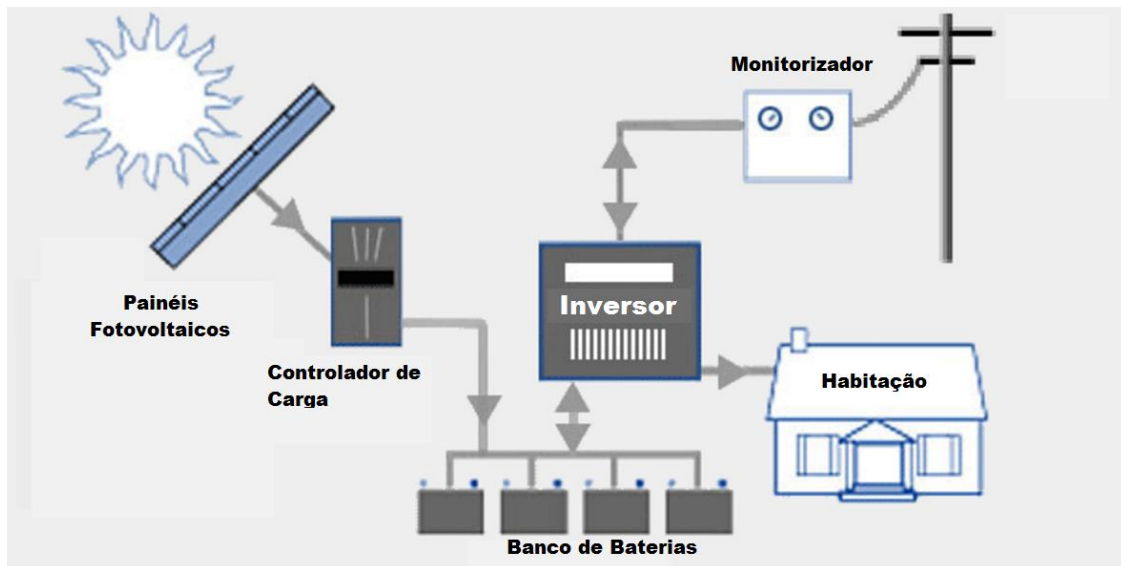


Figura 3 - Esquema de sistema híbrido (Maehlum, 2013)

Ao longo dos estudos que serão efetuados nesta dissertação, este será o sistema usado. Atualmente, com o crescente preço da energia e com o reduzir do preço pago pela energia injetada na rede nos sistemas de autoconsumo, os sistemas híbridos estão a surgir como a resposta ao problema. Estes permitem que a energia seja armazenada quando gerada em excesso, ao invés de ser injetada na rede a um preço reduzido e, quando esta mais tarde é necessária, é usada a energia contida no *ESS* evitando a compra a um preço mais elevado.

2.4. Sistemas de produção renovável

Com a generalização do uso de fontes de energia renovável, cada vez mais os sistemas de produção têm vindo a diminuir o seu preço, a sua complexidade e a burocracia necessária para a

sua instalação. Sendo assim, temos assistido à grande proliferação de sistemas de microgeração renovável, sendo que o que mais se destaca nesta vertente é a energia solar, tanto fotovoltaica como térmica.

Nesta secção será feita uma pequena revisão das diferentes tecnologias que são usadas nos sistemas de microgeração, levando em conta as limitações tecnológicas, possíveis aplicações e disponibilidade do recurso. Apenas serão descritas as tecnologias mais comuns nos sistemas de microgeração, nomeadamente a energia solar e eólica.

2.4.1 Energia solar

A energia solar é direta ou indiretamente a fonte primária de todas as energias renováveis com exceção da energia geotérmica e das marés. Esta pode ser aproveitada de uma forma direta para a produção de energia elétrica e de calor, sendo que atualmente a geração de calor é consideravelmente mais eficiente que a elétrica.

O aproveitamento da energia solar está a permitir mudar o mercado de energia, pois na atualidade qualquer cliente desde que tenha um telhado ou área disponível pode deixar de ser apenas consumidor, para também ser produtor. Esta nova realidade está a permitir que a implementação das fontes de energias renováveis seja progressiva, e a reduzir a necessidade de produção de energia de fontes não renováveis, bem como fazer decrescer a necessidade da construção de centrais de produção renovável centralizadas.

2.4.1.1 Energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é uma das fontes de energia renovável mais amplamente usada nos sistemas de microgeração. Contudo mesmo com o grande número de instalações, a energia gerada a nível nacional por esta fonte é uma pequena parte do total gerado pelas outras fontes renováveis.

A localização geográfica de Portugal é favorável para a implementação de sistemas fotovoltaicos, devido ao alto potencial do recurso solar, tal como se pode constatar na Figura 4.

Os painéis fotovoltaicos convertem a radiação solar em energia elétrica, através de um fenómeno denominado efeito fotoelétrico. As células fotovoltaicas são constituídas por uma fina camada de material semicondutor, geralmente silício tratado (dopado com átomos trivalentes ou pentavalentes) (Solaire Power, 2017).

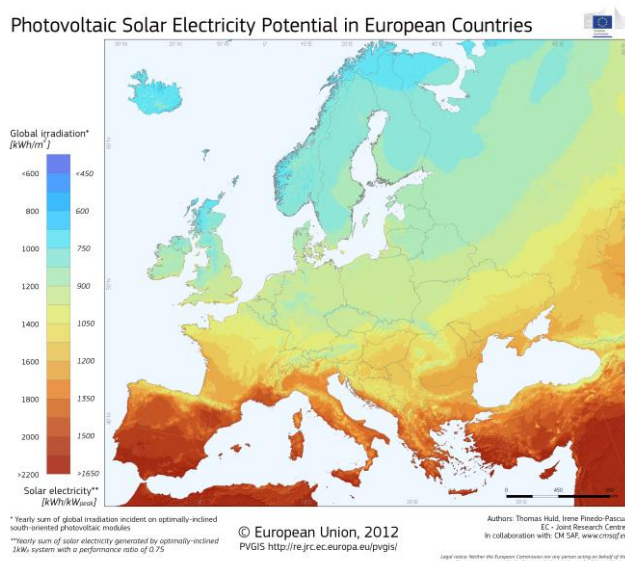


Figura 4- Potencial fotovoltaico na Europa (PV-GIS, 2012)

Os módulos fotovoltaicos podem ser constituídos por 3 diferentes materiais, as células monocristalinas, as células policristalinas e, as menos utilizadas, as células de silício amorfo.

As células policristalinas (Figura 5) têm um rendimento inferior, sendo a sua eficiência em média de cerca de 13%. O rendimento de conversão deste tipo de célula é menor devido às imperfeições dos cristais, contudo como o custo de fabrico é menor, os painéis também apresentam um preço final mais baixo.



Figura 5 – Painel policristalino (solar, s.d.)

As células monocristalinas (Figura 6) pertencem à primeira geração. O rendimento de conversão é o mais elevado entre todas as tecnologias, estando compreendido entre os 10 e os 16%. Este tipo de célula é a mais cara, pois necessita de recorrer a materiais em estado muito puro e que contenham uma estrutura cristalina perfeita, conseqüentemente, elevando o custo e dificuldade de produção.



Figura 6 – Painel monocristalino (solar, s.d.)

As células de silício amorfo, de entre todas as tecnologias, são as que apresentam menor rendimento, cerca de 5%, e também o menor preço. Estas são películas muito finas, permitindo que sejam usadas em painéis fotovoltaicos flexíveis, e como material de construção. Devido à sua baixa eficiência, este tipo de célula não é muito usado, em detrimento das células policristalinas e monocristalinas (Correia, 2012).



Figura 7 – Painel de silício amorfo (circuito, s.d.)

Os painéis fotovoltaicos, em geral são caracterizados por terem alta fiabilidade, reduzida manutenção, serem facilmente portáteis e adaptáveis. Sendo assim uma alternativa viável de produção de energia elétrica limpa e renovável. No entanto, a tecnologia fotovoltaica tem algumas desvantagens que a limitam, tal como a poluição resultante da produção dos módulos, o custo ainda elevado dos painéis, e por último, a perda de rendimento dos módulos ao longo do tempo.

O comportamento das instalações que usam painéis fotovoltaicos é condicionado principalmente pelos seguintes fatores:

- Disponibilidade de recurso solar;
- Características construtivas (rendimento, potência de pico);
- Temperatura de funcionamento (Temperatura a que estão sujeitos os módulos);
- Condições de instalação (ângulo de inclinação e orientação dos painéis).

2.4.1.2 Enquadramento legal

As instalações fotovoltaicas previstas nesta dissertação são as unidades de produção para autoconsumo (UPAC), ou seja, a produção de eletricidade para o consumo próprio do cliente na sua instalação, sendo que pode ou não existir ligação à rede, e cuja potência instalada pode ser igual ou inferior a 1 MW. A energia excedente gerada pode ser vendida à rede.

A UPAC tem de ter uma potência igual ou menor que 100% da potência contratada na instalação de consumo, bem como a produção anual terá de ser menor ou igual ao consumo anual da instalação de consumo.

No caso de existir injeção na rede a remuneração da mesma será calculada segundo a equação 1.

$$R_{UPAC,m} = E_{fornecida,m} \times OMIE_m \times 0,9 \quad (1)$$

Onde:

$R_{UPAC,m}$ = Remuneração mensal, em €;

$E_{fornecida,m}$ = Energia injetada na rede por mês, em kWh;

$OMIE_m$ = Média aritmética simples do preço de fecho do operador do mercado ibérico de energia (OMIE) para Portugal no mês, em €/kWh.

Nota: Caso se pretenda calcular apenas o valor pago pelo kWh de energia injetada na rede, usar a equação anterior, mas sem levar em consideração o parâmetro $E_{fornecida,m}$.

As UPAC com potência igual ou inferior a 1,5 kW, apenas necessitam de comunicação prévia da instalação, no entanto as UPAC com potências superiores a 1,5 kW e inferiores a 1 MW necessitam de registo e certificado de exploração.

No caso de a UPAC não estar conectada à rede, só é necessário realizar a comunicação prévia independentemente da potência desta (ffsolar, 2017).

2.4.1.3 Energia solar térmica

A energia solar térmica consiste atualmente numa das fontes renováveis com maior rendimento e viabilidade. Os sistemas solares térmicos incorporados em sistemas de autoconsumo são de grande importância, devido a permitirem fornecer a energia térmica necessária para os edifícios, de um modo mais eficiente que os sistemas de conversão de energia elétrica em térmica, e de uma forma gratuita quando comparada com sistemas a biomassa ou outros.

Para aplicações de dimensões reduzidas, existem dois tipos de painéis utilizados, os coletores solares planos e os coletores solares com tubos de vácuo, sendo que ambos podem ser subdivididos em circulação natural e circulação forçada.

Os coletores solares planos (Figura 8) são os mais comuns e robustos, sendo principalmente usados em instalações onde a temperatura máxima necessária não ultrapassa os 60°C; são conhecidos pelo seu preço mais baixo e por já serem uma tecnologia bem desenvolvida.



Figura 8 – Coletor solar térmico (newhome, s.d.)

Os coletores tubulares a vácuo, como os da Figura 9, são mais caros do que os coletores solares planos, no entanto oferecem uma temperatura de operação mais elevada, e perdas de calor menores. Esta tecnologia ainda é recente, sendo que já se encontra bastante desenvolvida, apresentando grande resistência mecânica e à corrosão, devido ao uso de materiais não ferrosos. Este tipo de coletor consegue atingir uma eficiência de conversão na ordem dos 72 %. O sistema consiste num tubo de vidro de parede dupla, com vácuo entre elas, e num tubo de cobre que contém uma substância de mudança de fase. A substância de mudança de fase aquece dentro da parte do tubo onde incide a irradiação e vaporiza; o vapor sobe e chega à parte onde existe

permuta de calor, o gás condensa e volta à parte inferior do tubo onde o ciclo se irá repetir a uma velocidade máxima de 90 ciclos por minuto (newhome, s.d.).



Figura 9 – Coletor solar a vácuo (newhome, s.d.)

2.4.2 Energia eólica

A energia eólica é uma fonte importante de energia renovável, tem uma grande penetração no *mix* energético português, chegando em janeiro de 2015 a contribuir com 25% de toda a energia produzida em território continental (Abreu, 2017). Contudo, em sistemas de microgeração o peso da energia eólica é muito pequeno, a grande maioria dos sistemas são fotovoltaicos, tanto devido à maior facilidade de instalação como de disponibilidade de recurso.

A grande maioria dos sistemas microprodutores encontra-se em meio urbano ou semiurbano; isto leva a que a disponibilidade de recurso seja afetada, pois existem muitos obstáculos, como edifícios ou vegetação, que reduzem a potência disponível e geram turbulência que irá diminuir a eficiência dos aerogeradores.

Existem casos em que a aplicação de aerogeradores é possível e recomendável, como por exemplo em locais altos, em estuários de rios, ou em planaltos. Mas não se deve proceder à instalação sem antes fazer um estudo do recurso disponível ou averiguar localmente por indícios que indicam uma zona com potencial, tais como árvores que cresceram inclinadas numa dada direção derivado à força do vento. Um outro recurso que pode ser usado para ter uma ideia do potencial eólico, é um mapa como o da Figura 10, sendo que estes mapas são formados a partir de médias, não tendo em consideração que cada local tem as suas características e necessita de ser analisado individualmente.

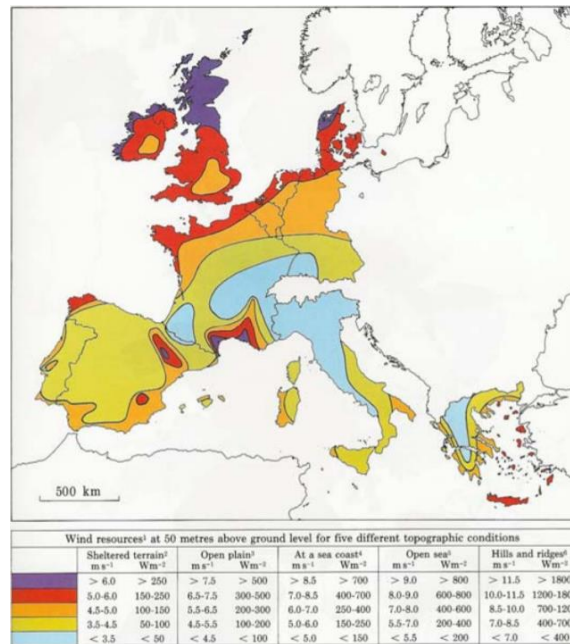


Figura 10 - Atlas Europeu do vento à cota de 50 metros (Costa, 2004)

Os aerogeradores apresentam em si duas tipologias, os de eixo vertical e os do eixo horizontal. Os de eixo horizontal podem ir de algumas centenas de watt até alguns megawatts, enquanto os de eixo vertical são normalmente limitados a alguns kilowatt.

Os geradores de eixo horizontal podem ser:

- Geradores de pá simples;
- Geradores de pá dupla;
- Geradores de pá tripla (os mais comuns);
- Geradores com múltiplas pás (mais que três).



Figura 11 – Aerogerador de eixo horizontal (Daviddarling, 2017)

Os geradores de eixo vertical podem dividir-se em dois tipos, o primeiro é denominado de Darrieus e pode ser observado na Figura 12, e o outro tipo de aerogerador é conhecido por Savonius, como o da Figura 13.



Figura 12 - Gerador eólico Darrieus
(greenpoweruk, 2017)



Figura 13 – Gerador eólico Savonius
(greenpoweruk, 2017)

2.5. Sistemas de armazenamento

2.5.1 Caracterização dos sistemas de armazenamento elétrico

Os sistemas de armazenamento de energia estão atualmente a tornar-se cada mais vez mais vulgares, isto deve-se à diminuição dos custos das tecnologias de armazenamento e à necessidade de mitigar os efeitos que as altas penetrações de fontes renováveis exercem na rede. Contudo, quando se procuram as baterias disponíveis no mercado, podem ser encontradas terminologias como, “Grande capacidade”, “Longa Duração”, “Alta descarga”, “Carga rápida”, entre outros, mas existem poucos parâmetros da indústria ou legais que definam exatamente o que cada um dos termos anteriores define. A maneira como as baterias são publicitadas pode significar aquilo que o comercial quer transmitir, sem ter grande significado real. Isto está relacionado com o facto de, além do *design*, o desempenho depender do modo como as baterias são utilizadas e das condições ambientais a que estas são sujeitas.

Sabendo que o mercado não fornece dados técnicos detalhados das diferentes tecnologias de armazenamento, é necessário estudar o comportamento das baterias ao longo da sua vida útil, tendo em conta a sua utilização e meio onde vão operar, pois são estes parâmetros que nos irão

permitir perceber qual é a durabilidade que podemos esperar de um *ESS*, e assim saber se este irá ser economicamente viável ou não.

Os fabricantes não conseguem prever a vida útil das suas baterias, pois o perfil de utilização irá ser diferente em cada aplicação e de utilizador para utilizador, sendo muito difícil de prever a durabilidade dos seus produtos para cada aplicação específica.

Os pontos seguintes irão descrever em detalhe todos os parâmetros que influenciam a vida útil das baterias e como cada um deles promove a degradação das baterias.

2.5.1.1 Curvas de descarga

As baterias foram desenvolvidas para uma grande variedade de aplicações e usando diferentes tecnologias, o que resulta na disponibilidade de uma multiplicidade de características de desempenho. A Figura 14 mostra alguns dos fatores que um engenheiro deve ter em consideração, quando escolhe uma bateria para se enquadrar nas necessidades específicas de um dado sistema, sendo que neste caso em concreto pode ser observada a tensão das células durante a sua descarga.

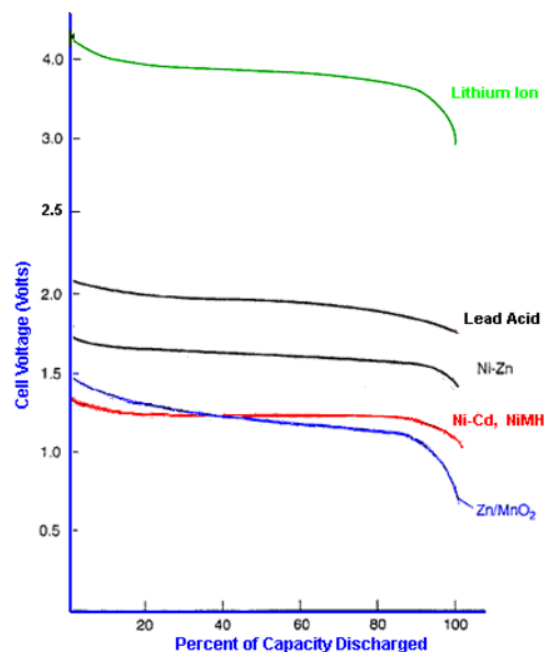


Figura 14 – Curvas de descarga de várias tecnologias de baterias químicas

A tensão que pode ser medida nos terminais das células depende da carga da bateria, da impedância das células, da temperatura e por último da idade da célula. A descarga das células vai fazer descer o nível de tensão de forma progressiva ao longo do ciclo, isto pode originar

problemas para aplicações de grande potência, principalmente para o fim da descarga, onde a queda de tensão é mais rápida. Para aplicações de baixa potência que necessitem de uma alimentação de tensão estável, pode ser necessário incorporar um regulador de tensão, caso a inclinação seja muito elevada, mas esta opção não é comum para casos de alta potência pois esta solução iria usar mais energia das baterias.

2.5.1.2 Características com a temperatura

O desempenho das células varia com a temperatura. No extremo mínimo, as baterias que usem eletrólito aquoso, o próprio eletrólito pode congelar acabando por limitar e ou danificar as baterias. As baterias de lítio a baixas temperaturas sofrem de um processo denominado galvanização do ânodo, originando a permanente redução da capacidade. No extremo máximo, os químicos ativos podem degradar-se, acabando por reduzir a capacidade das baterias, mas entre os limites o desempenho das baterias tem tendência a aumentar com a temperatura.

De modo a ser mais fácil perceber como a temperatura afeta as baterias, no gráfico da Figura 15, pode-se observar como o desempenho das baterias de lítio é afetado com a temperatura. Neste gráfico observa-se que a capacidade das baterias de lítio vai-se deteriorando quanto mais baixa for a temperatura de operação. O dado mais importante a reter é que, quanto mais afastada da temperatura ambiente (25 °C) a célula estiver exposta, mais o ciclo de vida será afetado.

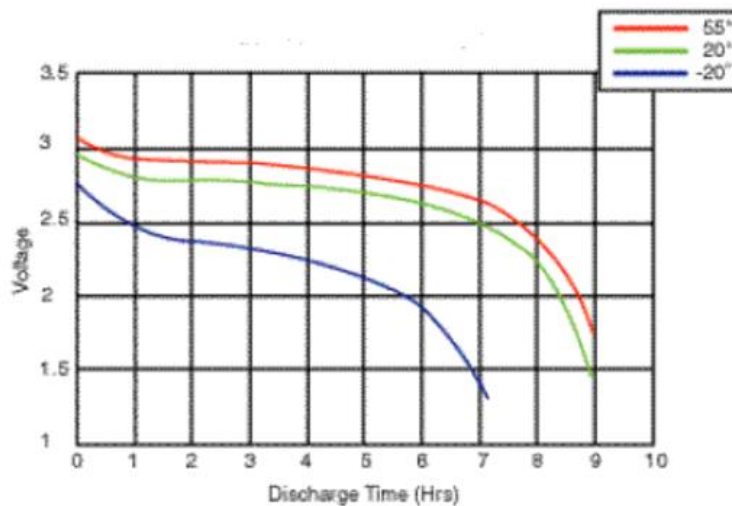


Figura 15 – Variação de tempo de descarga com a temperatura

2.5.1.3 Auto descarga das baterias

A auto descarga das baterias é uma medida da rapidez com que uma bateria irá perder a sua energia quando não é usada, devido a reações não desejadas dentro das células. A velocidade

com que o fenômeno ocorre, depende da composição da célula, da temperatura e por fim da sua carga. As taxas de auto descarga típicas para as tecnologias de bateria mais usadas são:

- Chumbo ácido, 4% a 6% por mês;
- Níquel-cádmio, 15% a 20% por mês;
- Lítio, 2% a 3% por mês.

As reações internas indesejadas nas células das baterias causam a fuga interna de corrente entre os elétrodos positivo e negativo da célula, e tal como em grande parte das reações químicas, a velocidade de reação aumenta com a temperatura, logo aumenta a velocidade de descarga da bateria. O gráfico da Figura 16 mostra como varia a capacidade das baterias quando estas se encontram armazenadas a temperaturas diferentes.

O parâmetro da auto-descarga não é um fator importante para o nosso estudo, pois os sistemas em questão sofrem ciclos diários, não existindo assim tempo suficiente para o processo de auto descarga ocorrer.

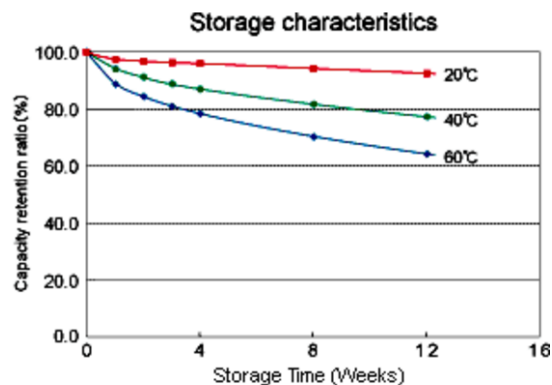


Figura 16 – Variação da velocidade de autodescarga quando as baterias se encontram armazenadas

2.5.1.4 Impedância interna

A impedância interna das células determina a corrente máxima que esta pode fornecer, ou seja, quanto menor for a resistência, maiores serão as correntes possíveis. O diagrama da Figura 17 mostra o circuito equivalente de uma célula de energia.

- **R_m** consiste na resistência da parte metálica da célula incluindo os terminais, os elétrodos e as interconexões;
- **R_a** consiste na resistência da parte eletroquímica, incluindo o eletrólito e o separador;
- **C_b** consiste na capacitância das placas paralelas que formam os elétrodos da célula;
- **R_i** consiste na resistência do contacto não linear entre o elétrodo ou placa com o eletrólito.

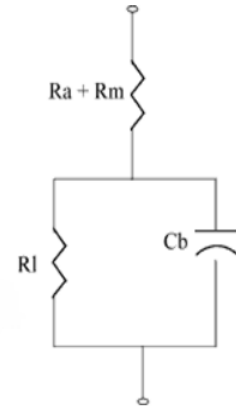


Figura 17 – Circuito equivalente de uma célula de bateria (Electropaedia, 2017)

Numa célula, quando a corrente flui, vai criar uma queda de tensão devido à resistência interna; esta queda vai originar a queda de tensão nos terminais durante a descarga e aumenta a tensão necessária para carregar, isto irá levar à diminuição da capacidade efetiva, bem como diminuição da eficiência de carga/descarga. Quanto maior for a corrente de descarga, maior será a queda de tensão nas baterias, o que leva a uma curva de descarga com uma tensão menor. A impedância interna é afetada pelos componentes físicos do eletrólito, sendo que quanto mais reduzido for o tamanho das partículas do eletrólito, mais baixa será a resistência.

2.5.1.5 Tipos de células

A construção das células pode também variar sendo que as mais usadas em baterias são as seguintes:

- Elétrodos enrolados em espiral

Este tipo de construção advém da necessidade de aumentar a área de superfície dos elétrodos. Logo, a solução encontrada para atingir este propósito foi criar os elétrodos e o separador a partir de longas fitas, e enrolá-los em forma de cilindro. Este tipo de construção é o que está a ser mais usado na atualidade nas baterias de *Li-ion* que são introduzidas em dispositivos como portáteis,

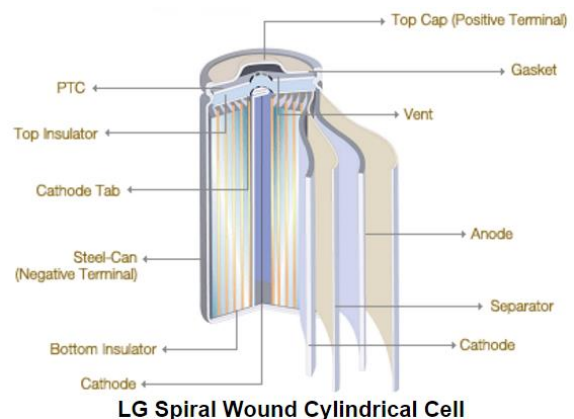


Figura 18 – Bateria de íons de lítio com construção em espiral (Electropaedia, 2017)

carros elétricos e ainda sistemas de armazenamento de energia. Este *design* foi escolhido, pois permite a redução da impedância e aumenta a área de superfície, conseguindo assim diminuir a produção de calor e obter taxas de carga e descarga mais altas. (Electropaedia, 2017)

- Eléctrodo em placas lisas

A tecnologia de eléctrodos em placas é tipicamente usada nas baterias de chumbo-ácido e já data de há centenas de anos de história e desenvolvimento. Os eléctrodos são feitos em placas lisas, suspensas no eletrólito que é contido num contentor que normalmente não intervém na reação (Figura 19). Um separador entre as placas previne que estas se toquem e sofram curto-circuito. Este tipo de construção é simples e também usa diferentes tipos de química das células, onde a sua principal vantagem é poder ser dimensionada em varias escalas, sendo que variando o tamanho dos contentores e das placas podemos obter grandes capacidades e altas correntes (Electropaedia, 2017).

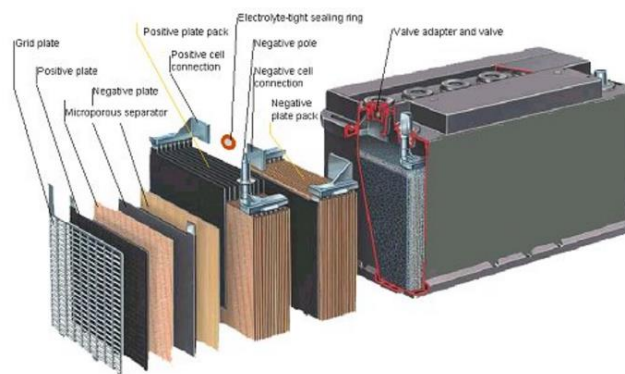


Figura 19 – Bateria de Chumbo com construção em placas lisas (Electropaedia, 2017)

Apenas foram tratados estes dois tipos de células pois são as mais comuns nos sistemas de armazenamento. Embora existam mais não são tão relevantes quanto estas na indústria.

2.5.1.6 C-rating

O *C-rating* representa a corrente de carga ou descarga de determinada bateria em relação à sua capacidade. Este dado, embora possa não aparecer nas especificações técnicas de todas as baterias, tem influência na sua capacidade, bem como na corrente máxima de carga e descarga. Simplificando, o valor de C significa que, numa descarga equivalente a 1 C, irá existir uma carga que está a usar uma corrente equivalente à capacidade da bateria. Sendo assim uma descarga a 1 C, corresponde à descarga de toda a energia da bateria numa hora. Seguindo o raciocínio 0,5 C é a descarga da bateria em duas horas, 0,2 C é a descarga em 5 horas (batteryuniversity, 2016).

Tendo em conta o exemplo de uma bateria de capacidade 1 Ah, caso esta seja descarregada a 1 C, irá fornecer 1 Ah durante uma hora, caso a descarga seja de 0,5 C irá fornecer 500 mAh durante duas horas.

A importância do parâmetro *C-rating* está relacionado com os limites de operação das baterias. Este faz variar a capacidade que podemos usar da bateria, sendo que um valor de C elevado leva à redução da capacidade da bateria bem como da sua vida útil. A utilização de cargas e descargas com correntes iguais ou inferiores a 1 C, normalmente leva à utilização de toda a capacidade disponível e diminui o desgaste causado às baterias.

2.5.1.7 Ritmo de descarga

O ritmo de descarga das baterias, tal como referido anteriormente, faz variar bastante o desempenho da bateria. Caso uma descarga seja realizada abaixo do ritmo para o qual a bateria foi desenhada, é possível obter uma capacidade efetiva superior ao que foi especificado pelo fabricante. O fenómeno anterior acontece, pois quanto mais lenta for a reação que ocorre em cada uma das células individuais das baterias, mais energia estas irão libertar. A capacidade de aplicações de baixa potência é normalmente especificada usando a descarga a 1 C, enquanto para aplicações como baterias convencionais de automóvel estas são testadas usando 0.05 C (20 h de descarga).

Sabendo que o ritmo de descarga afeta a capacidade das baterias, o gráfico da Figura 20 mostra como a capacidade das baterias de íões de lítio varia com diferentes ritmos de descarga. Esta variação é conhecida como *Capacity Offset*, e o efeito é muito comum nas baterias químicas.

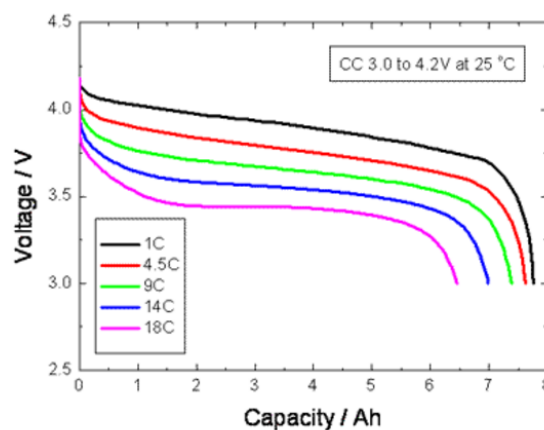


Figura 20 – Variação da capacidade de baterias de íões de Lítio com o ritmo de descarga (Electropaedia, 2017)

2.5.1.8 Profundidade de descarga

A profundidade de descarga é frequentemente referida como *DOD* (*Depth of Discharge*), reverte para a quantidade de carga que é retirada de uma bateria num ciclo típico de funcionamento, e expressa-se em percentagem relativamente à capacidade total desta. Para uma dada temperatura e ritmo de descarga, a quantidade de químico que sofre transformação em cada carga-descarga irá ser proporcional à profundidade de descarga.

A relação que existe entre a vida útil da bateria e a profundidade de descarga é logarítmica, como se pode observar no gráfico da Figura 21, ou seja, o número de ciclos de uma dada bateria cresce exponencialmente quanto menor for a profundidade de descarga (Electropaedia, 2017).

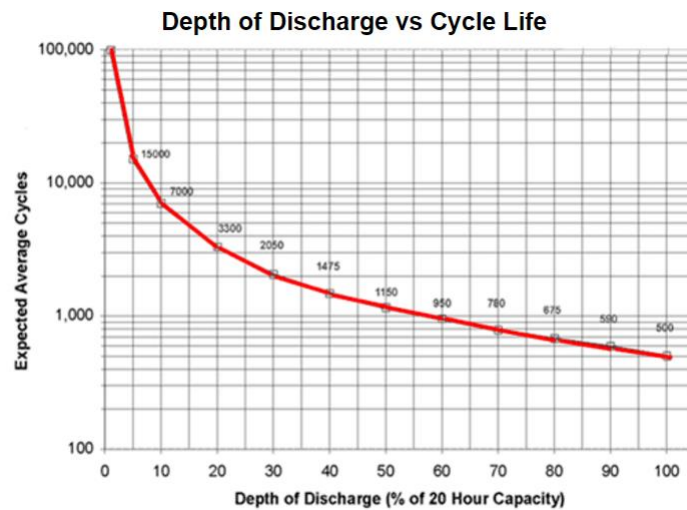


Figura 21 – Ciclo de vida em relação com o *DOD* (Electropaedia, 2017)

O método de cálculo da profundidade de descarga, consiste no quociente entre a energia retirada em Ah ou kWh, pela energia total armazenada na bateria.

2.5.1.9 Ciclo de vida

O ciclo de vida é considerado um dos parâmetros chave no processo de escolha da bateria a usar. Este é definido como o número de ciclos que uma dada célula consegue realizar, antes da capacidade diminuir a menos de 80% da sua capacidade original. Cada ciclo de carga e descarga e a subsequente transformação dos químicos ativos são caracterizados por uma lenta deterioração dos químicos que será quase impercetível pelo utilizador. Esta deterioração pode ser o resultado de reações indesejadas, tais como o crescimento de cristais e ou dendrites que vão afetar o desempenho dos elétrodos. O ciclo de vida das baterias é o que irá definir se o uso de determinada

tecnologia de armazenamento é viável, pois no caso de, para dada aplicação, a vida útil da tecnologia ser reduzida, esta não será considerada.

A determinação do ciclo de vida de uma bateria para casos reais é um processo pouco preciso e que pode conter um erro considerável. Isto relaciona-se com o facto de as baterias, quando são testadas pelos fabricantes, serem testadas a temperaturas constantes, os valores de C são constantes nas cargas e descargas, não existe tempo de armazenamento entre outros. Estes fatores mencionados anteriormente, na realidade não são constantes, pois uma bateria não vai permanecer sempre exposta à mesma temperatura, as cargas de carga e descarga são variáveis, sendo que assim o ritmo de desgaste das baterias vai ser mais acelerado em grande parte dos casos.

2.6. Modelo de longevidade das baterias

Para a realização desta dissertação a previsão da vida útil das baterias é um fator determinante, do ponto de vista técnico e económico. Como foi abordado na secção anterior, existem muitos fatores que influenciam a durabilidade de uma bateria, e como cada aplicação tem as suas exigências e condições específicas, este tipo de estudo torna-se difícil de fazer.

Normalmente, quando se procura uma dada bateria, o fabricante fornece uma folha de especificações onde se podem analisar as características técnicas. Contudo, os testes que são feitos são de natureza sistemática e repetitiva. No entanto, as condições reais de operação são variáveis. Ainda havendo o aspeto de que, na realidade, uma bateria normalmente não sofre séries de ciclos de carga e descarga completos, mas sim cargas e descargas parciais, que originam um aumento muito significativo da vida útil das baterias como se pode observar na Figura 21.

Com todas as variáveis que entram em consideração para a estimativa de vida útil das baterias, é necessário usar um modelo matemático que permita internalizar as variáveis, de modo a simplificar todo o processo.

Existem alguns modelos, que podem ser consultados na literatura, que tomam todos os parâmetros anteriores em consideração, tais como: *diffusion model* ou, um dos mais usados, o *Kinetic Battery Model (KiBaM)*. O modelo *diffusion model*, é baseado na difusão dos iões presentes no eletrólito, tendo em conta como a concentração de elétrodos ativos varia ao longo do tempo, prevendo assim a vida de uma célula (Haverkort, 2015).

O modelo *KiBaM*, consiste num modelo compacto que inclui os parâmetros mais importantes das baterias, tais como o efeito de recuperação, o ritmo de descarga e capacidade. Esta metodologia foi originalmente criada para as baterias de chumbo-ácido, contudo com o aparecimento de novas tecnologias, foi constatado que este modelo também se adequava. O modelo define que a carga das baterias está dividida em duas componentes, a carga disponível (*available charge*) e a carga de ligação (*bound charge*).

Segundo a divisão do modelo, a carga flui da carga de ligação para a carga disponível, através de um canal com uma condutância fixa. No entanto, este modelo não será o usado neste trabalho, pois este usa muitos parâmetros de cálculo que são difíceis de obter e que tornam o uso da ferramenta difícil (Haverkort, 2015).

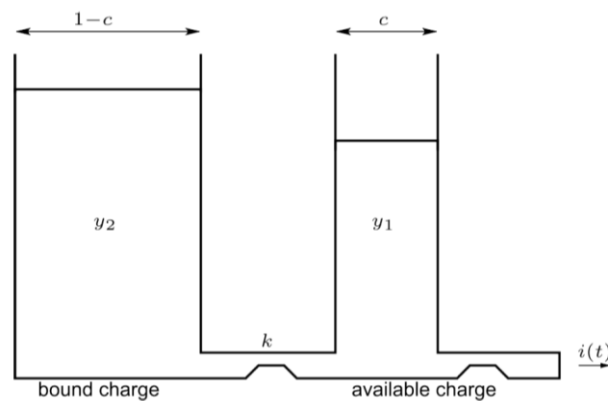


Figura 22- Divisão da carga das baterias do modelo *KiBaM* (Haverkort, 2015)

Existem ainda outros modelos que realizam a previsão, como são exemplo:

- Modelo analítico linear;
- Lei de Peukert;
- Modelo de Rakhmatov-Vrudhula.

O modelo analítico e linear é o mais simples de todos, pois considera a bateria como um reservatório linear de corrente, não tendo em consideração efeitos não lineares que ocorrem durante o período de carga e descarga. Este modelo não é o de utilização mais indicada, pois define que todas as operações são lineares, enquanto que na realidade as cargas e descargas não são lineares e estas têm um efeito significativo na capacidade e vida útil das baterias (Correia, 2012).

A lei de Peukert, ao invés da anterior, leva em consideração propriedades não lineares das baterias, como por exemplo a relação que existe entre a taxa de descarga da bateria e a sua vida

útil. No entanto esta lei não aplica outros efeitos não lineares, tal como o efeito de recuperação da bateria (Correia, 2012).

Por último, o modelo de Rakhmatov-Vrudhula, é baseado na difusão dos iões no eletrólito; este descreve a evolução da concentração dos químicos eletricamente ativos pelo eletrólito, estimando assim a vida útil da bateria a uma dada carga. Este cria uma vista simplificada da operação da bateria tendo em consideração o modelo de difusão. Quando a bateria se encontra carregada, a concentração de elementos eletro-ativos é constante ao longo de toda a bateria, no entanto quando é aplicada uma carga a reação provoca a redução de concentração de elementos junto ao elétrodo, sendo assim criado um gradiente. No entanto quando a carga é desligada a concentração vai voltar a aumentar junto ao elétrodo (recuperação) pelo processo de difusão, até que os elementos ficam de novo distribuídos pelo eletrólito (Haverkort, 2015).

Para a elaboração desta dissertação irá ser usado o método de previsão de vida das baterias desenvolvido por Stephen Drouilhet e Bertrand L. Johnson, para a associação norte-americana NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) (NREL, 1997). Este método foi escolhido pois consegue incorporar as variáveis mais importantes para o envelhecimento das baterias, tais como a profundidade e taxa de descarga. O modelo usa um método de cálculo mais simplificado e que recorre a dados que são normalmente fornecidos pelos fabricantes ou de fácil obtenção empírica. A principal vantagem deste modelo é que permite estimar a vida útil das baterias sem usar modelos eletroquímicos das baterias, que são de difícil aplicação e onde a exatidão dos resultados embora seja superior, não apresenta desvio significativo face a este método. O único pressuposto que este método usa, é que a temperatura ambiente é controlada, o que para os casos de estudo desta tese e para uma parte considerável das aplicações *ESS* é razoável, pois as baterias neste tipo de utilização são normalmente instaladas em locais climatizados ou protegidos das variações meteorológicas.

2.6.1 Modelo de Stephen Drouilhet e Bertrand L. Johnson

O modelo de previsão usado é baseado em três premissas:

Premissa 1: cada célula tem uma vida finita, que consiste na soma efetiva dos Ah usados durante a sua vida útil. Os Ah efetivos são aqui definidos como os Ah modificados pelos parâmetros citados nas premissas seguintes. Quando a soma efetiva dos Ah (o total de Ah que correspondem a uma série de descargas) equivale à vida útil definida, a célula terá atingido o seu período de funcionamento útil. Sendo então a vida de carga útil Γ_r definida pela (Drouilhet, 1997):

$$\Gamma_R = L_R \times D_R \times C_R \quad (2)$$

Onde:

C_R = capacidade nominal em Ah para descarga à corrente I_R definida,

D_R = profundidade de descarga pela qual o ciclo de vida foi determinado,

L_R = ciclo de vida para dada D_R e corrente de descarga I_R .

Esta premissa assume que as condições de operação, além da profundidade de descarga e ritmo de descarga, são similares às condições de referência (temperatura, tensão de flutuação, etc.) segundo as quais o ciclo de vida foi determinado.

Premissa 2: A vida útil real da célula, não é apenas dependente do ciclo de vida estipulado, é uma função da profundidade de descarga a que esta é usada. Quando usada de modo alternativo os Ah efetivos numa dada descarga podem ser mais ou menos do que o estipulado, dependendo da corrente de descarga relativa. Também é assumido que as células se encontram totalmente carregadas com regularidade, logo não haverá uma redução significativa na vida da bateria pois a bateria não precisa de ser totalmente recarregada em cada ciclo.

Sendo que esta premissa lida com o efeito da *DOD* na vida das células, foi determinada a relação entre estes parâmetros na equação 3, usando dados que são normalmente fornecidos pelos fabricantes (Drouilhet, 1997).

$$L = u_2 \times \left(\frac{D_R}{D}\right)^{u_0} \times e^{u_1\left(1-\frac{D}{D_R}\right)} \quad (3)$$

Premissa 3: A vida útil da célula, Γ , irá diminuir sempre que a célula seja descarregada a um ritmo superior (corrente de descarga superior) do que a estipulada. Ainda mais, a redução da vida terá uma relação com a diminuição da capacidade observada com ritmos de descarga mais elevados. Este efeito descrito pode ser aproximado usando a equação 4 (Drouilhet, 1997)-

$$d_{eff} = \left(\frac{C_R}{C_A}\right)^{v_0} \times e^{v_1\left(\frac{C_R}{C_A}-1\right)} \times d_{actual} \quad (4)$$

Onde

d_{actual} = valor efetivo da descarga de um evento, em Ah;

C_R = capacidade nominal da bateria (Ah);

C_A = capacidade fornecida pela bateria em Ah quando sujeita a determinado ritmo de descarga

Contudo as informações fornecidas pelos fabricantes, são frequentemente escassas para permitir determinar os parâmetros v_0 e v_1 . Isto está relacionado com o facto de a capacidade das células ser normalmente testada a apenas um ritmo de descarga, pelo que nestes casos se aproxima a expressão anterior tornando $v_0=1$ e $v_1=0$ (Drouilhet, 1997). Logo obtém-se a equação 5:

$$d_{eff} = \left(\frac{C_R}{C_A}\right) \times d_{atual} \quad (5)$$

O valor do parâmetro C_A a uma dada corrente de descarga é normalmente determinado usando uma tabela denominada “Amperes em Descarga”, que relaciona a capacidade das baterias com a duração da descarga destas. Sendo que este tipo de tabelas não é muito comum, o valor C_A para dada célula pode ser obtido através de uma interpolação.

Com o uso desta fórmula vai ser possível observar que o parâmetro d_{eff} irá aumentar em proporção direta com a redução de capacidade disponível, à medida que as correntes de descarga aumentam.

Os efeitos da profundidade de descarga e ritmo de descarga são combinados multiplicando os fatores anteriormente apresentados, dando origem à equação 6:

$$d_{eff} = \left(\frac{D_A}{D_R}\right)^{u_0} \times e^{u_1 \times \left(\frac{D_A}{D_R} - 1\right)} \times \left(\frac{C_R}{C_A}\right) \times d_{atual} \quad (6)$$

Onde:

D_A –descarga absoluta de um evento de descarga relativamente à capacidade estipulada da bateria.

A equação anterior permite determinar a descarga efetiva num dado evento de descarga. A previsão de vida de uma célula que seja sujeita a um padrão irregular de cargas e descargas irá requerer a soma das descargas efetivas dos vários eventos de descarga. O perfil de descarga poderá ser obtido fazendo a monitorização da corrente da bateria em operação, ou pode ser conseguido fazendo a modelação da bateria para um dado sistema. Em qualquer um dos casos,

a série de n descargas irá corresponder a um dado tempo de operação do sistema, T . O tempo de vida L_{time} das células sobre um uso específico de um sistema será obtido usando a equação 7:

$$L_{time} = \frac{L_R \times D_R \times C_R}{\sum_{i=1}^n d_{eff}} \times T \quad (7)$$

2.7. Caracterização de sistemas de armazenamento térmico

Os sistemas de armazenamento térmico são importantes quando se pretende construir um edifício *NZEB* ou criar um sistema de microgeração que consiga ser o mais eficiente possível. Quando se idealiza este tipo de sistemas para instalações de pequena a média dimensão, o que normalmente é usado é o depósito de água quente associado a coletores solares ou outras fontes renováveis.

A adoção deste tipo de sistemas em habitações ou outras instalações, é relevante pois permite que uma das grandes necessidades energéticas dos edifícios seja satisfeita com energia renovável. Os coletores solares térmicos também têm uma eficiência de conversão de energia solar em energia muito superior ao dos painéis fotovoltaicos, bem como o armazenamento de energia térmica é um processo muito mais fácil e barato do que o de energia elétrica. Com o uso desta medida, uma parte considerável dos 24% do consumo anual de uma habitação que a ADENE estima serem usados para o aquecimento de água seja reduzido (ADENE, 2012), originando assim a diminuição do tamanho do sistema de armazenamento de energia elétrica necessário para uma habitação.

O armazenamento de energia térmica também pode ser feito usando aquíferos como reservatórios, e esta aplicação tem a vantagem de poder ser aplicada em escalas muito variáveis; no entanto devido à pouca utilização desta alternativa, nesta dissertação a tecnologia que será usada nos casos de estudo serão os depósitos de água quente. Os depósitos de água quente são equipamentos destinados ao armazenamento de energia por períodos consideráveis de tempo, logo necessitam de ter um bom isolamento para fazer face às perdas. A espessura do isolamento pode variar com a localização, mas esta variação não é muito significativa, sendo os valores típicos, de 15 centímetros no topo e na base, e na lateral de 10 centímetros (Correia, 2012). O isolamento tem como objetivo diminuir as perdas do depósito para a envolvente, fazendo assim com que a energia permaneça armazenada durante mais tempo e a uma temperatura superior, sendo que as maiores perdas estão relacionadas com a canalização ligada ao dispositivo.

O modo de permuta de calor para o aquecimento de água pode ser realizado de forma direta ou indireta. Na permuta direta o fluido de armazenamento percorre o circuito de aquecimento como podemos observar no primeiro depósito da Figura 23. Nas duas ilustrações seguintes da mesma imagem, vai-se realizar permuta indireta, ou seja, o fluido que realiza aquecimento está separado do fluido que armazena.



Figura 23 – Tipologias de permutas de calor em depósitos de água quente (Solaire Power, 2017)

Nos sistemas de armazenamento de água quente sanitária e de consumo, é utilizado o tipo de depósito presente na segunda ilustração da Figura 23, neste a água está ligada diretamente ao reservatório e existe um circuito fechado de aquecimento.

De modo a calcular qual a energia armazenada num depósito de água quente, sob a forma de calor sensível, pode ser determinada usada a equação 8 (Yunus A Çengel et Al, 2006)

$$E_{t\acute{e}rmica} = 0,00116 \times m \times C_p \times \Delta T \quad (8)$$

Onde:

$E_{t\acute{e}rmica}$ – Energia térmica armazenada, expressa em kWh;

m – massa de água no depósito de armazenamento em kg;

C_p – calor específico do fluido utilizado, em kcal/kg °C;

ΔT – Diferença de temperatura entre a temperatura do fluído no interior do cilindro e a de entrada, em °C.

2.8. Métodos de dimensionamento

Os sistemas de geração autónoma ou semiautónoma de energia apresentam grande complexidade. A dificuldade no dimensionamento está relacionada com a grande variabilidade das cargas, a falta de consistência das cargas e outros fatores que são difíceis de prever na fase

de projeto, tais como a alteração de cargas por substituição de equipamentos, maior utilização, entre outros (Mellit et al, 2004). Sendo então possível utilizar os seguintes métodos:

- Método empírico;
- Método numérico;
- Método analítico.

O método empírico recorre apenas à intuição para o dimensionamento, sendo o cálculo do sistema feito para garantir que a geração de energia nos piores meses é superior ao consumo, assumindo um fator de segurança definido pelo projetista com base na sua experiência. Um procedimento similar é usado para determinar o tamanho do banco de baterias (Mellit et al, 2004).

O método numérico necessita de simulações de longas séries de dados meteorológicos, de modo a obter um modelo ótimo entre a procura e a oferta. Este método assume que qualquer sistema tem ligação a uma fonte auxiliar onde irá buscar a energia quando esta não está disponível, o uso de fontes externas de energia é usado de maneira a garantir que no final de determinado dia as necessidades sejam satisfeitas (Mellit et al, 2004).

O método analítico assume que a radiação solar tem uma distribuição Gaussiana. Contudo este usa uma função de erro com um processo iterativo que requer um tempo de computação longo (Mellit et al, 2004) .

Atualmente já estão disponíveis vários programas que conseguem calcular com precisão as estimativas de produção renovável e perceber se dado sistema irá funcionar com as especificações fornecidas, ou mesmo em sistemas mais avançados, descrever o sistema necessário para dada especificação.

De todos os sistemas disponíveis, serão usados o *Pv-Gis* para previsão de produção de sistemas fotovoltaicos, e o *SAM (System Advisor Model)* que é o software que mais se enquadra na área de estudo desta dissertação. Este programa consegue calcular de forma precisa o desempenho de sistemas híbridos ou isolados, sendo usado para comparar os resultados obtidos pelo programa desenvolvido.

3. Desenvolvimento do programa de cálculo

O programa desenvolvido foi denominado *Solar-Plus-Storage-Analysis (SPSA)*, pois tem como propósito facilitar o estudo técnico e financeiro de sistemas híbridos fotovoltaicos, ou seja, sistemas fotovoltaicos com sistemas de armazenamento de energia elétrica químicos. A necessidade da existência deste programa, relaciona-se com a grande complexidade associada com o cálculo de vida útil das baterias, que não depende apenas de um fator, mas sim de múltiplos fatores que variam ao longo do tempo e que podem ou não diminuir a expectativa de utilização de dado sistema de armazenamento.

Este programa incide sobre formas de armazenamento químico, neste caso baterias de tecnologia de chumbo-ácido e de lítio, pois na atualidade, com o reaparecer da mobilidade elétrica, as tecnologias de armazenamento estão a tornar-se mais fiáveis. Sendo que os fatores mais importantes para o nosso caso são a diminuição do preço do armazenamento e o aumento da vida útil das baterias.

As baterias acabam assim por ser uma escolha ideal para poder armazenar energia elétrica, que atualmente está presente em quase todos os equipamentos presentes nas nossas habitações. O programa também levará em conta o armazenamento térmico, mas não o fará de forma muito

detalhada, servindo este como um sistema que ajudará a reduzir o desgaste das baterias devido à diminuição de consumos.

3.1. Ferramenta de programação

A programação desta aplicação foi realizada em folha de cálculo Excel, pelo facto de esta ter uma interface de utilização amigável e estar amplamente divulgada.

A interface do ficheiro Excel foi pensada de maneira a simplificar a entrada e aquisição de dados. Sendo que todos os *inputs* necessários deverão ser de fácil acesso para o utilizador, ou caso isso não seja possível, já estarão disponíveis valores padrão. O programa irá tratar os dados recolhidos sem que o utilizador tenha de intervir, e irá devolver resultados que podem ser consultados no ficheiro Excel ou no relatório Word que é gerado automaticamente.

Foi criado um manual de utilização para o uso do programa, que está disponível no Anexo 1.

No Anexo 2 será inserido o resultado gerado automaticamente em Word, do caso de estudo que demonstrou ser mais economicamente viável.

3.2. Caracterização dos casos de estudo do programa

Na atualidade, como antes referido, existem três tipos de sistemas de produção renovável para sistemas de microgeração:

- Sistemas ligados à rede (*Grid-Tie*);
- Sistemas isolados (*Off-Grid*);
- Sistemas híbridos.

O modelo desenvolvido irá comparar os sistemas ligados à rede, com os sistemas híbridos, analisando o seu desempenho em parâmetros como a energia total aproveitada, a energia excedente e a energia total que é necessário adquirir da rede com cada uma das opções. Assim sendo o programa irá comparar os seguintes sistemas:

- Sistema dotado de produção fotovoltaica;
- Sistema dotado de produção fotovoltaica e sistema solar térmico;
- Sistema dotado de produção fotovoltaica e armazenamento de energia;
- Sistema dotado de produção fotovoltaica, armazenamento de energia e sistema solar térmico.

De todas as opções anteriores, o programa irá fazer sempre a comparação de modo a equiparar sistemas com e sem armazenamento de energia, originando assim que a única variável entre os casos de estudo seja a presença ou ausência do sistema de armazenamento de energia. Esta metodologia foi escolhida, pois o objetivo do programa é perceber qual a influência do armazenamento de energia em dado caso.

O tipo de utilização que o programa prevê é em sistemas híbridos, isto é, o sistema de armazenamento de energia terá como objetivo diminuir ou até mesmo evitar a necessidade de compra de energia à rede. Contudo, devido ao preço da aquisição das baterias, é necessário perceber qual a capacidade de armazenamento que é necessário incorporar em cada caso, pois embora a presença de uma grande capacidade de armazenamento seja benéfica para evitar a compra de energia, o seu preço de aquisição não iria ser amortizado durante a sua vida útil.

A Figura 24 apresenta a topologia geral adotada nos sistemas híbridos usados neste trabalho, sendo que existem outros métodos e equipamentos, para esta tipo de sistema. No entanto atualmente a topologia apresentada é a mais usada devido à necessidade de menos equipamentos e subsequentemente a um menor custo.

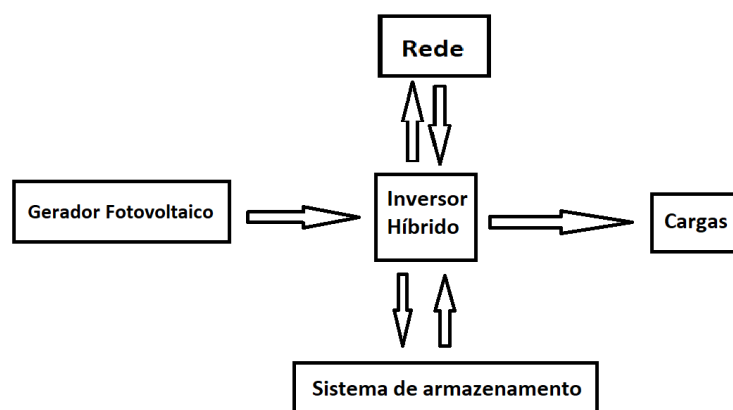


Figura 24 - Topologia síntese de um sistema híbrido

O aparecimento de inversores híbridos está a facilitar a instalação dos sistemas híbridos; este inversor consiste num regulador de carga, inversor e ainda gestor de carga. Isto evita que se tenham de comprar três equipamentos diferentes, e torna a instalação mais fácil.

Os inversores híbridos, tal como os equipamentos individuais, têm as suas limitações, sendo que a potência máxima fotovoltaica é limitada pelo regulador de carga do inversor e a potência máxima de conversão de DC/AC é definida pelo inversor em si. Os controladores de carga podem ser, *Pulse-Width-Modulation (PWM)* ou *Maximum power point tracking (MPPT)*, contudo os

inversores DC/AC só podem ser inversores de onda pura, pois estes serão ligados diretamente à rede.

Um dado técnico importante, é que os inversores híbridos irão ser instalados depois do dispositivo de controlo de potência (DCP), sendo que a ou as fases, que provêm da rede são ligadas diretamente ao inversor, e do inversor as fases vão alimentar o quadro principal. Esta abordagem serve para que o inversor consiga controlar a entrada e saída de energia da casa, podendo assim fornecer apenas energia proveniente do sistema de armazenamento e gerador renovável, caso esta esteja disponível. Quando o inversor deteta que não existe energia suficiente nas baterias e no gerador renovável, este faz *bypass* e liga o quadro principal diretamente à rede, de modo a satisfazer as necessidades, este procedimento também acontece quando a potência necessária para abastecer a casa é superior à que o inversor consegue fornecer.

Os inversores híbridos atualmente permitem uma grande seleção de modos de operação, sendo possível controlar se em caso de excesso de produção renovável a energia é ou não injetada na rede e ainda definir se este irá continuar a trabalhar, caso a energia da rede falhe (modo *Off-Grid*). Os parâmetros do sistema de armazenamento, tais como profundidade de descarga, tensão de carga, correntes máximas entre outros também poderão ser definidos pelo utilizador.

3.2.1 Formulação de parâmetros para sistemas híbridos

Os sistemas solares híbridos juntam duas tecnologias diferentes; isto leva a que o utilizador saiba quais as restrições e métodos de dimensionamento necessários para cada uma.

O programa apresenta muitas variáveis de decisão que é necessário dominar, de modo a ser possível obter resultados fiáveis, assim sendo as variáveis de decisão utilizadas na otimização do sistema estão resumidas na Tabela 3.

Tabela 3 - Variáveis de decisão tendo em conta a configuração

Configuração	Variáveis de Decisão
Sistema Dotado de Gerador Fotovoltaico	<ul style="list-style-type: none"> -Número de painéis fotovoltaicos a colocar em série -Número de Strings a criar; -Configuração das Strings; -Inversor a escolher; - Presença ou ausência de sistema solar para AQS -Injeção ou não de energia na rede
Sistema Dotado de Gerador Fotovoltaico e Sistema de Armazenamento	<ul style="list-style-type: none"> -Número de painéis fotovoltaicos a colocar em série -Número de <i>Strings</i> a criar; -Configuração das <i>Strings</i>; -Escolha da tecnologia das baterias a usar -Número de baterias em série; -Número de baterias em paralelo; -Profundidade de descarga das baterias; -Substituição ou não das baterias em fim de vida; -Inversor híbrido a escolher; -Presença ou ausência de sistema solar para AQS; -Injeção ou não de energia na rede

As variáveis antes descritas têm de considerar as especificações e limitações técnicas dos componentes individuais que compõem o sistema, sendo que o que se procura é otimizar o sistema híbrido. Na Tabela 4 podemos observar as restrições para cada componente utilizado.

Tabela 4 - Restrições a ter em consideração

Componente	Restrição
Gerador Fotovoltaico	<ul style="list-style-type: none"> - Potência de pico > 0 - Potência de pico \leq Potência Inversor
Baterias	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidade > 0 - Limites de correntes de carga e descarga - Limites de carga máximo e mínimo
Inversor Híbrido	<ul style="list-style-type: none"> -Potência Inversor \geq Potência Gerador Fotovoltaico - Potência do Inversor com potência suficiente para alimentar as cargas habituais da casa -Funcionalidade de <i>Bypass</i>

As restrições anteriores são aquelas que maior importância tem quando se dimensiona um sistema híbrido que consiga satisfazer as necessidades projetadas, e que respeite as limitações técnicas de todos os equipamentos. Estas restrições não se encontram, na sua maioria, inseridas no

programa; estas têm de ser revistas antes dos dados serem inseridos. A função primária do modelo é calcular a vida útil das baterias e perceber se o sistema será viável.

3.2.2 Parâmetros a introduzir

A aquisição de dados obriga a que seja feito um levantamento junto da habitação existente ou então sobre o projeto desta, visto que quanto mais cedo for prevista a instalação do sistema híbrido melhor. O desenvolvimento do projeto de construção tendo em consideração o uso de um sistema híbrido, irá ter em conta, desde uma fase inicial, as limitações deste sistema. Fazendo assim com que sejam instalados equipamentos mais eficientes, sejam criadas mais condições para acomodar os equipamentos e, por fim, que toda a habitação seja pensada de modo a diminuir o seu consumo. Isto irá levar à necessidade de um sistema mais reduzido e com melhor desempenho.

Os primeiros fatores a obter serão de natureza geográfica, física e de ocupação da habitação.

3.2.2.1 Área útil da habitação

O primeiro fator a introduzir no programa é a área útil da habitação, isto é importante pois as necessidades de aquecimento e arrefecimento estão diretamente ligadas com a área a climatizar. No entanto, ao introduzir este valor é necessário ter em atenção que não devem ser considerados espaços não úteis (ENU), ou seja que não são climatizados. As divisões que são consideradas ENU's, e que não devem ser consideradas são (ADENE, 2017):

- Desvão sanitário;
- Arrumo sob escadas;
- Antecâmara;
- Zona técnica;
- Garagem;
- Lavandaria;
- Desvão da cobertura.

Assim sendo deve-se usar a equação 9:

$$\text{Área útil} = \text{Área}_{Total} - \sum \text{Área}_{ENU's} \quad (9)$$

onde:

$\text{Área}_{Total} = \text{Área útil total da habitação, m}^2$;

$\sum \text{Área}_{ENU's} = \text{somatório de todas as áreas consideradas ENU's, m}^2$

O programa também permite que o utilizador defina a percentagem da casa que é climatizada, pois quando se recorre ao tipo de aquecimento elétrico ou ar condicionado estes equipamentos costumam ser individuais para cada divisão, originando assim que a habitação não seja toda climatizada.

3.2.2.2 Número de habitantes

O número de habitantes consiste no número de pessoas que constituem o agregado familiar e que residem de modo permanente na habitação em estudo. O número de pessoas é usado para antever quais as necessidades energéticas para o aquecimento de águas sanitárias. Este parâmetro é relevante pois as necessidades de AQS representam uma parte significativa dos consumos; cerca de 24% do consumo anual (ADENE, Guia da eficiência energética, 2012).

A quantidade de água quente usada em média por cada pessoa numa habitação foi estimada em 45 litros por dia (Letras, 2014).

No aquecimento de AQS apenas o termoacumulador será tido em consideração, pois este consome energia elétrica, ao contrário do esquentador e das outras tecnologias.

3.2.2.3 Localização

O programa irá considerar o concelho onde a habitação se localiza, para determinar o número de meses da estação de aquecimento. Isto fará com que a partir do início da estação de aquecimento, dia 1 de outubro, até ao final do mês definido pelo RCCTE, se considere que a habitação está a ser climatizada (RCCTE, 2006). Existem inúmeros métodos para climatizar uma habitação e para o caso de estudo apenas os métodos que necessitam de energia elétrica serão considerados; neste caso apenas o aquecimento elétrico ou o ar condicionado. Todos os métodos que não usem energia elétrica deverão ser escolhidos como outros.

3.2.2.4 Preço da eletricidade

O preço da eletricidade é um valor que varia de operadora para operadora bem como depende do tipo de contrato celebrado. Além do mais, o preço da energia não é constante, tende a aumentar

de ano para ano, fator que é considerado e deve ser revisto pelo utilizador, caso existam alterações significativas.

Tarifa Simples

Nos contratos com tarifa simples o preço da eletricidade é sempre igual não havendo alterações do preço consoante a hora ou dia. Este tipo de contrato é o que apresenta melhores resultados no uso de sistemas de armazenamento de energia.

Tarifa bi-horária

Os contratos com tarifa bi-horária são divididos entre duas categorias, os contratos com ciclo semanal, e os contratos com ciclo diário.

Na Figura 25 pode-se observar a diferença horária e diária entre os contratos de ciclo semanal e diário.

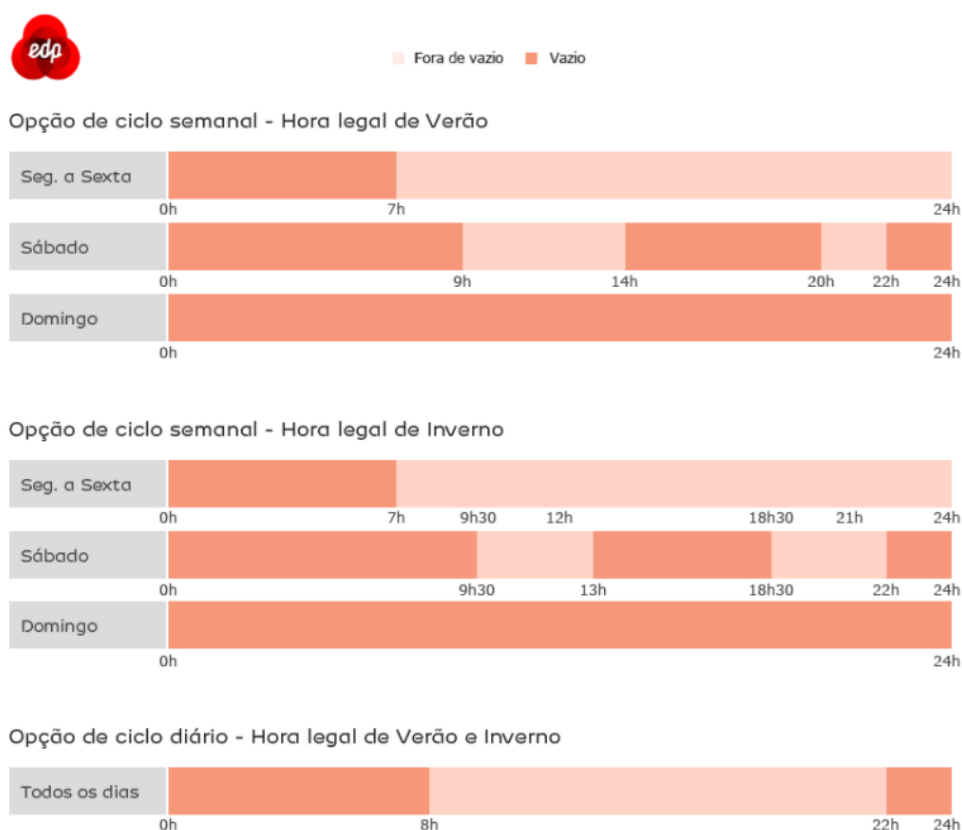


Figura 25 - Diferença horária entre vazio e fora de vazio (EDP, 2017b)

O preço da energia na tarifa bi-horária varia consoante a hora, alternando entre vazio e fora de vazio, sendo que o preço em vazio é consideravelmente mais barato do que em fora de vazio.

Na criação do programa foi utilizado apenas o contrato de ciclo diário; esta escolha está relacionada com a grande dificuldade na divisão dos consumos estimados pelas diferentes horas e dias do ciclo semanal. Foi, no entanto, criada uma alínea que permite ao utilizador definir a divisão dos consumos de forma percentual entre as 20 h e as 22 h. Estas horas consistem no período noturno de utilização de bateria em que o cliente paga o preço fora de vazio. A restante energia usada durante a noite será taxada e contabilizada como período fora de vazio.

As horas consideradas de utilização de baterias serão explicadas em mais pormenor no subcapítulo seguinte.

3.3. Estimativa e distribuição dos consumos

O consumo de uma dada habitação pode ser obtido através de duas metodologias, a primeira das quais consiste na medição dos consumos no local durante um certo período de tempo. Este método embora sendo o mais fidedigno, não foi o usado pois muitas vezes os clientes não desejam que este tipo de dispositivos seja instalado nas suas casas, e além desta condicionante a medição de consumos normalmente é feita durante um curto período de tempo (uma semana a um mês), ficando assim o resto dos consumos do ano por determinar. Assim sendo, a metodologia escolhida consistiu na entrada das potências individuais de cada equipamento e da sua utilização diária. Este método tem a necessidade que o cliente comunique com a maior precisão possível a sua utilização dos diferentes aparelhos e a análise das faturas de energia do cliente por parte do utilizador. Sabendo que o consumo de dado equipamento é dado em função da equação 10 (Bird, 1995).

$$E = P \times t \times \text{Cos } \delta \quad (10)$$

em que:

E = Energia (Wh)

P = Potência (W)

t = Tempo (s)

$\text{Cos } \delta$ = Fator de potência

Para facilitar os cálculos, e tendo em consideração que a maior parte dos equipamentos domésticos consome pouca energia reativa, o fator de potência ($\text{Cos } \delta$) foi considerado igual a 1. Com a fórmula anterior, o consumo total diário de uma casa consiste no somatório dos consumos individuais de cada equipamento ao longo do dia.

Os consumos diários foram ainda subdivididos em duas categorias, o consumo de dia e o consumo de noite. A divisão horária foi feita seguindo as normas da Tabela 5.

Tabela 5 - Divisão das horas de consumo

Horas de consumo dia	Horas de consumo noite
8 h – 20 h	20 h – 8 h

Esta divisão foi feita de modo a entender os diferentes consumos ao longo de um dia, e perceber onde se encontram as maiores necessidades energéticas.

Os consumos, além de poderem variar de dia e de noite, podem variar dos dias da semana para os fins-de-semana; assim sendo foi necessário introduzir uma coluna com os consumos associados aos dias de fim-de-semana.

A Tabela 6 mostra onde são recolhidos todos os dados de consumo do programa.

Para a determinação mais exata de consumos ao longo de uma semana, é necessário localizar onde serão os dias em que os equipamentos com grande consumo irão funcionar, pois certo tipo de equipamentos como o forno elétrico, a máquina de lavar ou a máquina de secar, normalmente não são usados todos os dias, mas o seu consumo é significativo. Assim, de modo a poder inserir com maior precisão os dias de consumo de cada equipamento foi criada uma tabela no programa que se pode observar na Tabela 7. Nesta podem-se seleccionar os dias onde cada equipamento funciona, e mesmo escolher se determinado equipamento funciona diariamente ou mesmo duas vezes por dia.

Tabela 6 - Tabela com dados de consumo

Determinação de Consumos		Dias da semana		Fim-de-semana		
		Número de horas de utilização		Número de horas de utilização		
A.3	Equipamentos	Potência (Watts)	Dia	Noite	Dia	Noite
	Iluminação	500 W	0,1	0,6	0,3	0,7
	Ferro de engomar	1000 W	0,5	0	0,6	0
	Secador	500 W	0,2	0,1	0,25	0,15
	Televisão	200 W	2	3	2	2,5
	Arca congeladora	200 W	0	0	0	0
	Frigorífico	200 W	3	,5		3
	Fogão elétrico	5000 W	03	0		0
	Fritadeira elétrica	1500 W	0,1	0,2	3	0,1
	Computador	250 W	0,5	1	0	1
	Microondas	1000 W	0,05	0,05	0,05	0,05
Sub-total		1,98 kWh	2,25 kWh	2,58 kWh	1,93 kWh	

Tabela 7 - Tabela de preenchimento dos dias de funcionamento de cada equipamento

	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado	Domingo	Todos os dias	2x ao dia
Máquina de lavar roupa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Máquina de lavar louça	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Máquina de secar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Forno elétrico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Outro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Na Tabela 6 e na Tabela 7 foram deixados espaços por preencher, para adicionar outros equipamentos que não tenham sido considerados inicialmente.

Relativamente aos equipamentos inseridos na Tabela 7, estes funcionam normalmente por ciclos, ou seja, cada vez que são usados, eles necessitam de um determinado tempo para realizarem a sua função, e o tempo médio de operação de cada uma foi tido em conta. Foram usados os seguintes tempos médios de cada ciclo:

- Máquina de lavar roupa: 1:18 h por cada ciclo de máquina com carregamento frontal (Steen, 2016);
- Máquina de lavar louça: 2 h por cada ciclo completo de lavar e secar (Nguyen, 2015);
- Máquina de secar roupa: para cálculo foi estimado um valor de 30 minutos, no entanto este valor pode mudar da utilização de cada um, visto os ciclos destas máquinas serem definidos pelo utilizador;
- Forno elétrico: o valor usado para cálculo foi de 2 h, no entanto este valor deve ser mudado de modo a ser compatível com o uso do cliente;
- Outro: esta alínea serve para inserir qualquer tipo de equipamento de grande consumo, que tenha uma utilização pontual.

3.3.1 Necessidades de AQS e aquecimento.

Atualmente quase todas as casas têm necessidades de aquecimento ambiente e de AQS. O tipo de tecnologia usada e o modo de operação vão ter um efeito significativo no desgaste que o sistema híbrido irá sofrer, bem como no consumo da habitação.

Os valores usados serão valores médios, no entanto estes valores foram obtidos usando dados das empresas fornecedoras de energia, que analisando os seus clientes e respetivos consumos conseguem obter resultados próximos dos reais.

3.3.1.1 Águas quentes sanitárias (AQS)

A quantidade de energia elétrica necessária para AQS, vai neste programa ter três variáveis que serão o número de pessoas que residem na habitação, a tecnologia a usar e por último a presença ou ausência de painéis solares térmicos. O valor que foi usado como padrão para as necessidades energéticas dos termoacumuladores foi de 14 W/litro (EDP, 2017a), este valor para o nosso caso de estudo é o único que é relevante, pois as outras tecnologias para aquecimento de AQS como

esquentadores não consomem energia elétrica. Assim sendo caso não seja escolhida a opção de termoacumulador a energia elétrica consumida será considerada zero.

O consumo de AQS médio por pessoa foi considerado de 45 L diários (Letras, 2014)

Quando se escolhe a opção de termoacumulador ainda se pode adicionar a opção da presença de painéis solares térmicos. Se o sistema solar térmico estiver presente será considerada uma poupança de 50% do total de energia necessária para AQS (Duarte, 2012) .

O método de cálculo para a obtenção de consumos pode ser visto na Figura 26.

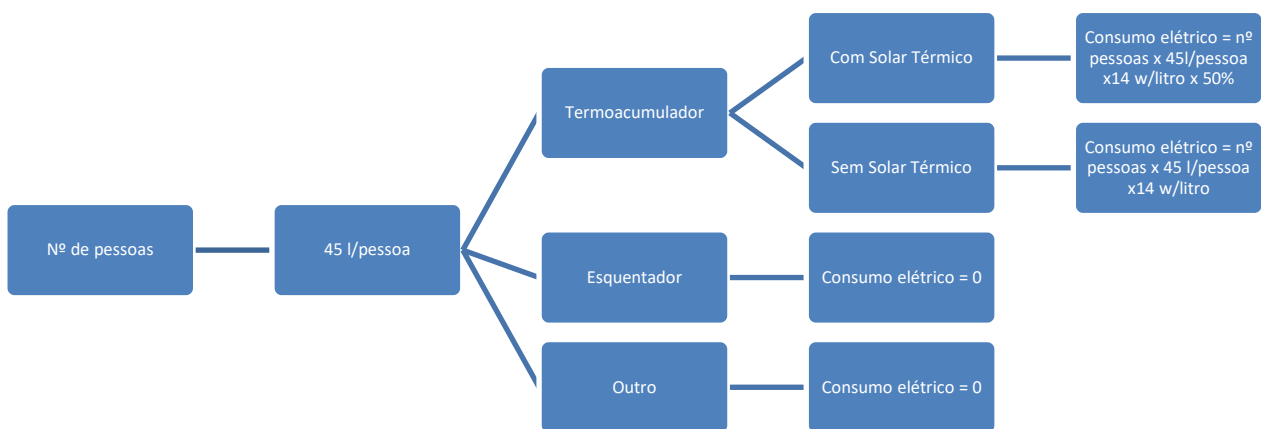


Figura 26 - Diagrama com método de cálculo de consumos AQS

3.3.1.2 Necessidades de aquecimento

A localização de uma habitação é o que irá definir o seu período de aquecimento. Embora existam muitas variáveis tais como a altitude, a exposição solar e o isolamento da casa, irão ser usados o número de meses da estação de aquecimento para determinar quais são os dias do ano em que é necessário aquecer a habitação.

As necessidades de arrefecimento não foram consideradas, pois devido ao clima português ser temperado mediterrâneo as nossas necessidades de arrefecimento não são significativas em maior parte dos casos.

Os consumos associados com o aquecimento irão depender de três fatores, a área útil da casa, o tipo de sistema a ser usado, e por último a área da habitação a climatizar.

A Figura 27 demonstra como está organizado a metodologia de cálculo das necessidades de aquecimento.

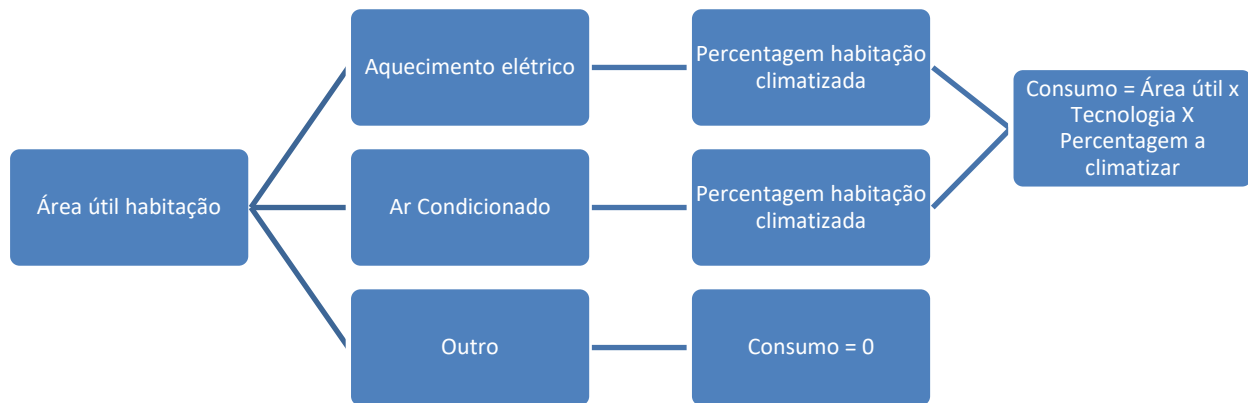


Figura 27 - Diagrama de modo de cálculo de necessidades de aquecimento

O cálculo das necessidades de aquecimento tem em consideração se no dia em análise, a habitação se encontra em estação de aquecimento, caso isso não se confirme o consumo para aquecimento nesse dia será considerado zero.

3.4. Sistema fotovoltaico

A determinação do tamanho do gerador fotovoltaico é um processo que usa a experiência do utilizador e que tem de otimizar os seguintes fatores:

- Evitar a geração de energia excedente;
- Garantir a produção de energia suficiente para atingir os objetivos propostos;
- Diminuir os custos de instalação;
- Uso eficiente do espaço com boa orientação solar da habitação.

O número de painéis solares fotovoltaicos a usar deve ser reanalisado sempre no final da criação do caso de estudo, pois é necessário atingir o equilíbrio entre o sobredimensionamento e subdimensionamento. Neste caso, pode ser observado o valor ideal aumentando e diminuindo o número de painéis e vendo qual a melhor opção através dos dados financeiros. A solução ótima deve ser aquela que apresenta os maiores valores de TIR e VAL que serão apresentados mais em pormenor em secções subjacentes.

O programa usa valores de produção média diária mensal, embora possam existir dias com produções muito superiores ou inferiores, a média engloba todos esses extremos.

O *software online* usado para obter estes resultados foi o *PV-GIS*; este após se definir todos os dados relativos à localização, inclinação, tecnologia da célula fotovoltaica, azimute e potência a instalar, devolve a energia média diária mensal, energia média mensal e energia produzida anualmente. Pode ser usado qualquer programa dos inúmeros que existem, este apenas tem de devolver a média diária mensal da energia produzida pelo sistema fotovoltaico.

Este passo necessita que os valores sejam copiados manualmente do programa de previsão para o programa Excel.

No programa é necessário introduzir o número de painéis a utilizar, a sua inclinação, azimute e tecnologia de célula fotovoltaica, pois esta informação será usada de modo a calcular os dados económicos e a gerar o documento Word automaticamente.

3.5. Sistema de armazenamento

O uso de sistemas de armazenamento é o objetivo pelo qual se realizou esta dissertação. Estes apresentam um grande potencial, mas que necessita de ser estudado pois a sua implementação ainda não assegura um retorno favorável para quem investe. Assim sendo, é necessário analisar as diferentes tecnologias e como estas se vão comportar quando submetidas a um dado perfil de operação.

Ao longo desta secção irão ser estudados diferentes tipos de baterias, cada uma com as suas características, mas com o ponto comum de poderem ser usadas em sistemas de armazenamento de energia.

Atualmente no mercado existem duas tecnologias em uso, as baterias de chumbo-ácido, que já estão bem implementadas, mas o seu desempenho não consegue satisfazer as exigências dos sistemas híbridos, durante um período aceitável de tempo. A segunda tecnologia consiste nas baterias de lítio, estas prometem vir a alterar o mercado do armazenamento, pois com a sua maior vida útil, podem tornar os sistemas híbridos mais viáveis.

O programa criado necessita de informações relativas a cada um dos tipos de baterias, e dentro destas de cada uma das suas tecnologias.

O desempenho das baterias muda de marca para marca, mesmo quando se fala da mesma tecnologia, e ainda mais significativamente quando se muda de química da bateria. No entanto quando se procura as especificações técnicas, estas muitas vezes apresentam informação insuficiente, ou quando apresentam, esta é muito vaga. A razão para isto acontecer é que a vida útil de uma bateria depende da forma como esta é utilizada, existem assim muitas variáveis que o fabricante não consegue prever e por isso acaba por definir a vida útil da bateria, com o número de ciclos a uma determinada profundidade de descarga, que normalmente é de 50%. Assim sendo no programa criado foram usados valores representativos de cada tipo e química das baterias mais usadas atualmente. As baterias consideradas foram as seguintes:

- Chumbo-ácido
 - Flooded Normal (600 ciclos)
 - Flooded Normal (1200 ciclos)
 - Flooded Premium (1600 ciclos)
 - Solar AGM (1700 ciclos)
 - Gel de descarga profunda (1000 ciclos)
- Lítio
 - LiFePo4
 - NMC

Para o cálculo da vida útil das baterias segundo (Drouilhet, 1997), são necessários alguns parâmetros de cada tipo de bateria. Os dados a obter de cada tipo de bateria são:

- Ciclos de vida com diferentes *DOD*;
- Capacidade da bateria consoante a corrente de descarga.

O número de ciclos de vida útil tendo em conta a *DOD* das descargas, é um dado com grande utilidade, pois permite perceber o modo como cada tipo de bateria se comporta com diferentes *DOD*. Sendo que esta análise não representa o comportamento da bateria em operação devido às diferentes descargas de cada ciclo. Estes dados irão permitir calcular os valores U_0 , U_1 , e U_2 que serão necessários para a determinação analítica da vida útil das baterias segundo o perfil de uso do sistema híbrido em estudo.

Na Figura 28 é possível visualizar o comportamento que todas as baterias usadas no estudo têm, perante diferentes *DOD*, sendo possível observar que os fabricantes não testam a vida útil das baterias de chumbo para descargas menores que um *DOD* de 20%.

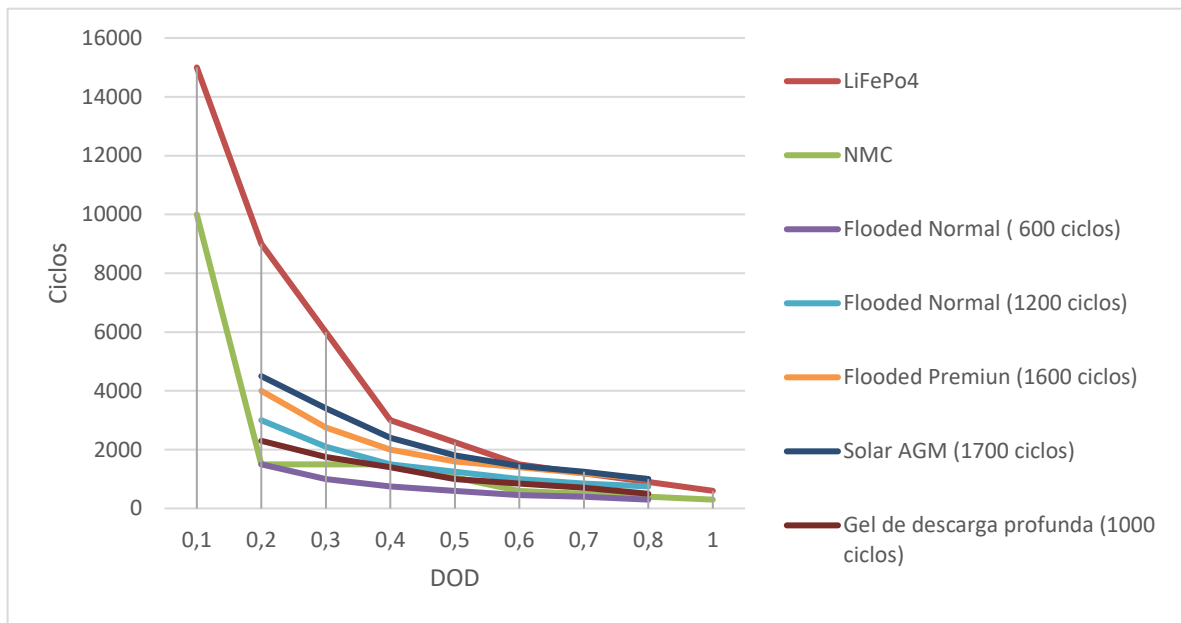


Figura 28 - Comparação dos ciclos de vida útil com diferentes DOD, das várias tecnologias

Os dados usados para preencher a tabela anterior foram obtidos em fabricantes e em artigos científicos, sendo que as baterias usadas para representar as baterias de chumbo-ácido foram as da marca Trojan (Trojan, 2017), devido ao facto de esta marca disponibilizar toda a informação necessária relativamente a todas as suas baterias. Os dados relativos às baterias de lítio são mais difíceis de obter na atualidade. Sendo que maior parte dos vendedores e fabricantes apenas fornecem o número de ciclos que uma dada bateria fará, sem especificar a profundidade de descarga dos testes realizados e as condições usadas. Os dados obtidos para as baterias de lítio apenas foram considerados para as LiFePo4 e NMC que, sendo as mais usadas, foram aquelas para as quais foi possível obter dados concretos (University, 2015).

A capacidade das baterias consoante a corrente de descarga, e a sua vida útil em relação à profundidade de descarga, foram consideradas iguais para todas as baterias que usem a mesma química. Assim sendo, mesmo que se usem baterias de outras marcas, os dados já estarão presentes. A capacidade das baterias em relação à corrente de descarga, foi determinada usando várias baterias iguais de cada tecnologia e obtendo a curva de variação com a corrente de descarga. Este método revelou que o comportamento das baterias de chumbo-ácido era bastante idêntico dentro das suas variantes, na obstante o programa irá considerar os valores de cada tipo de bateria.

Na Tabela 8 pode-se observar a variação percentual da capacidade das baterias com a corrente de descarga, face à capacidade original.

Tabela 8 – Variação da capacidade com a corrente de descarga

<i>Tipo de bateria</i>	<i>C5</i>	<i>C20</i>	<i>C100</i>
<i>Flooded Normal (600 ciclos)</i>	74%	90%	100%
<i>Flooded Normal (1200 ciclos)</i>	74%	90%	100%
<i>Flooded Premium (1600 ciclos)</i>	73%	90%	100%
<i>Solar AGM (1700 ciclos)</i>	88%	97%	100%
<i>Gel de descarga profunda (1000 ciclos)</i>	76%	90%	100%

Embora nas baterias de Chumbo-ácido exista variação de capacidade com a corrente de descarga, as baterias de Lítio não demonstram o mesmo comportamento, quando sujeitas a cargas dentro dos seus limites de operação. Mesmo com diferentes tipos de células de lítio, o que se pode observar é que a corrente máxima instantânea pode-se alterar com as diferentes células, mas o que se mantém constante é que a corrente de descarga não altera a capacidade que se pode usar de uma bateria. Considerando ainda que atualmente as baterias de lítio para sistemas de armazenamento, já vêm preparadas e testadas para que possam responder às necessidades. Caso os parâmetros máximos sejam ultrapassados, o circuito que monitoriza as baterias irá desconectá-las de modo a evitar danos permanentes nas células ou mesmo a sua autoignição.

O comportamento das baterias de lítio pode ser reduzido à sua unidade mais pequena, que neste caso é a célula individual. Assim sendo, de modo a representar as baterias de lítio, na Figura 29 está representada a variação da capacidade de uma célula com a corrente de descarga.

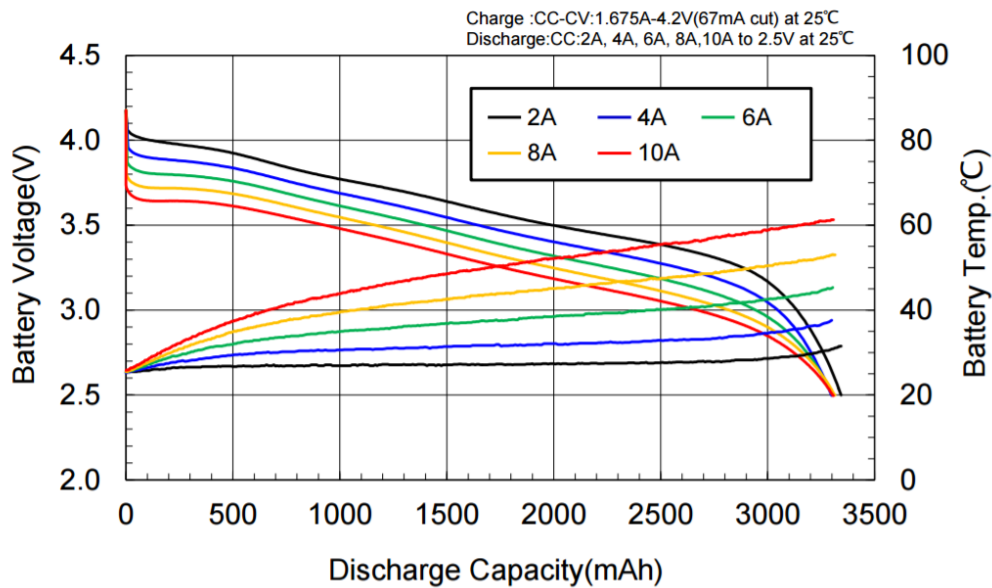


Figura 29 - Variação da capacidade de uma célula de lítio com a corrente de descarga (Panasonic, s.d.)

Tendo em conta a informação presente na Figura 29, o programa considera que as bateria de lítio irão fornecer sempre a sua capacidade máxima independentemente da corrente de descarga.

3.5.1 Determinação tensão de trabalho do sistema

A tensão a usar num dado sistema irá depender de dois fatores, nomeadamente a tensão das baterias e a tensão do inversor a usar. Nos sistemas híbridos atuais as tensões mais usadas são 12, 24, 36 e 48 V, sendo que os mais comuns são a 48 V.

O tipo de inversor a usar irá depender do tipo de bateria, pois embora as baterias de chumbo-ácido possam ser ligadas de modo a corresponderem às tensões de trabalho dos inversores, as baterias de lítio são vendidas em sistemas com uma tensão fixa predefinida.

O nível de tensão também terá influência na cablagem a usar no sistema, e assim sendo também irá afetar o custo deste, sendo que secções de cabo menores tendem a ser consideravelmente mais baratas.

A secção dos cabos de alimentação que irão compor o sistema gerador fotovoltaico e o sistema de armazenamento irá depender da corrente que irá passar por este, sabendo que correntes altas exigem cabos de maior secção e vice-versa.

Para dimensionar a secção dos cabos DC, é necessário ter em consideração a necessidade de reduzir as perdas resistivas. Usando a norma alemã VDE 0100 Parte 712 (1998), esta sugere que a queda de tensão máxima admissível (e), em todo o circuito condutor DC, não deve ser superior a 3 % da tensão de trabalho do sistema. Para as perdas admissíveis na alimentação AC, assume-se que a queda de tensão máxima seja de 1.5% (Carneiro, 2009).

Os parâmetros a serem considerados para o cálculo da secção transversal dos cabos, são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Parâmetros para dimensionamento de cablagens (Carneiro, 2009)

Parâmetros Elétricos	Símbolo	Unidade
<i>Comprimento do condutor</i>	L	m
<i>Secção transversal do cabo</i>	S	mm ²
<i>Condutividade elétrica ($\sigma_{cu} = 56$)</i>	σ	m/($\Omega \cdot \text{mm}^2$)
<i>Tensão de trabalho DC</i>	U	V
<i>Corrente de trabalho</i>	I	A
<i>Queda de tensão (3% DC, 1.5% AC)</i>	e	V
<i>Potência</i>	P	W

A equação 11 permite calcular qual a secção transversal dos cabos a usar.

$$S = \frac{L \times P}{\sigma \times e \times U^2} \quad (11)$$

Os resultados obtidos devem ser sempre arredondados em excesso tendo em consideração as medidas de cabo existentes no mercado (1.5; 2.5; 4; 6; 10; 16; 25; 35) mm².

3.5.2 Capacidade das baterias a usar

A capacidade do banco de baterias a usar num sistema híbrido não tem um valor definido. O armazenamento necessário irá depender da quantidade de energia que se pretende armazenar, e do valor custo/benefício. Os sistemas de armazenamento de energia apresentam um valor elevado por kWh de energia armazenada, sendo que é necessário perceber qual a capacidade necessária para obter a maior redução de consumo com o menor custo possível. O uso de uma capacidade de armazenamento pequena irá ter um impacto reduzido na redução global da energia necessária da rede, enquanto um sistema com grande capacidade de armazenamento não será totalmente carregado e a totalidade da energia armazenada não será utilizada. Assim sendo o programa testa o comportamento de várias capacidades de armazenamento, segundo o perfil de consumo do caso em estudo, devolvendo a poupança percentual que é expectável de obter com cada uma. Os resultados são dispostos graficamente, como na Figura 30, de modo a disponibilizar dados ao utilizador do programa, que ajudem no processo de decisão.

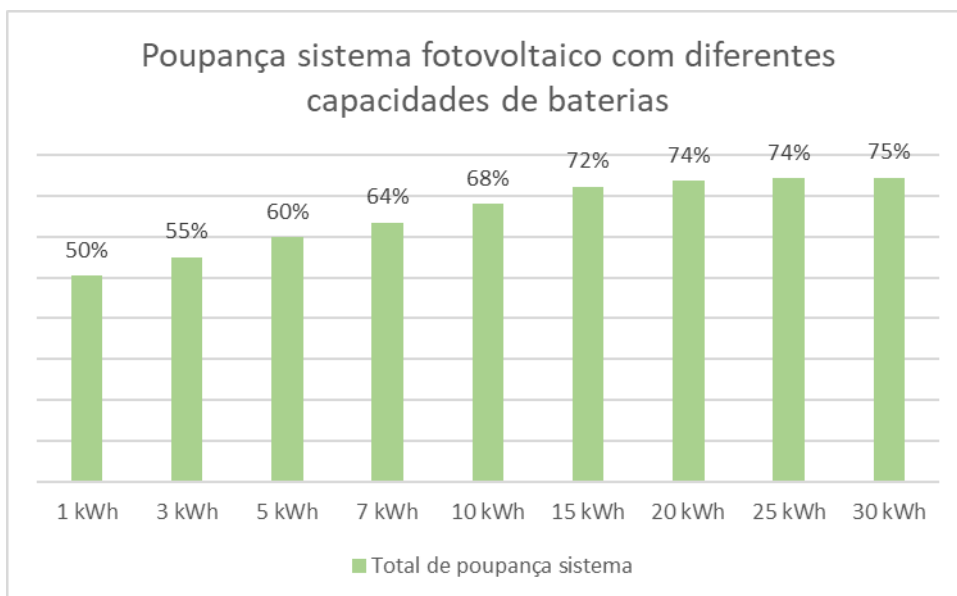


Figura 30- Gráfico de comparação percentual de poupança

A análise do gráfico anterior permite que o utilizador deduza qual a melhor capacidade a usar, pois como se pode observar a partir de dada capacidade de armazenamento as poupanças totais deixam de aumentar. Este facto demonstra a melhor relação entre a poupança e a dimensão do armazenamento.

3.5.2.1 Substituição de baterias.

As baterias que constituem o sistema de armazenamento devem ser substituídas, quando a sua capacidade atingir 80% do valor inicial. Contudo as baterias continuam operacionais quando chegam ao final de vida estipulado, onde a sua capacidade irá continuar a diminuir até que o sistema de armazenamento se torne obsoleto. O programa em si dá a escolher ao utilizador se este pretende substituir as baterias e quando, dando a hipótese de atrasar a substituição ou mesmo não a fazer. A opção de poder substituir ou não o sistema de armazenamento está relacionado com o elevado valor associado com a aquisição de novas baterias. O acréscimo deste valor irá fazer com que o sistema híbrido se possa tornar pouco viável ou mesmo inviável para o consumidor.

O programa estima que sempre que for feita a substituição das baterias, o valor de aquisição das novas irá ser igual ao valor inicial, independentemente do número de vezes que este procedimento aconteça. No entanto, é necessário referir que o sistema de armazenamento, caso necessite de ser substituído e isso não seja executado, este irá deixar de operar passado um período de tempo que não é possível de prever. O programa considera a opção que as baterias

irão diminuir a sua capacidade de armazenamento até o final de vida de todo o sistema, não considerando que estas deixarão de funcionar por avaria. Quanto às opções de esperar para substituir o programa considera que as baterias diminuem a sua performance até à data de substituição, sendo que no momento de substituição os cálculos voltam a considerar que o sistema de armazenamento voltará à sua capacidade original.

Na Figura 31 é possível de observar um exemplo do impacto que a substituição de baterias tem no *cash-flow* acumulado do sistema híbrido em comparação com a não substituição.

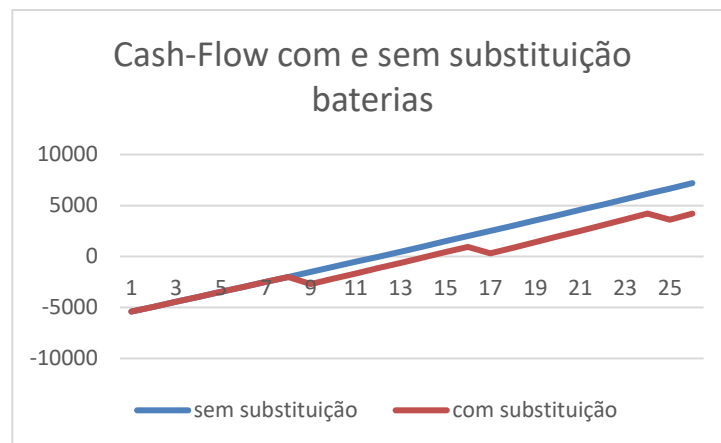


Figura 31 - Gráfico de comparação económica da substituição de baterias

3.6. Injeção de energia na rede

Na atualidade existem limitações quanto à energia que pode ser injetada e vendida à rede. Se esta opção for pretendida é necessário ter em consideração a aquisição de um contador especial, para que exista a contagem da energia que está a ser vendida à rede. Esta opção pode ou não ser viável dependendo da quantidade de energia vendida à rede e o preço a que a empresa fornecedora de energia paga pela energia injetada.

No programa ainda existe a hipótese de decidir se existe a venda de energia excedente em sistemas sem baterias, esta opção existe para poder estudar a viabilidade do sistema híbrido em relação ao sistema de pequena produção. A tarifa de venda de energia à rede muda mensalmente, sendo que o valor deve ser consultado e calculado.

De modo a determinar a remuneração da energia injetada na rede, recorrer à equação 1. O programa considera que nos sistemas híbridos apenas irá haver injeção na rede, caso todas as necessidades energéticas da habitação estejam satisfeitas e o sistema de armazenamento se

encontre cheio. Quanto ao sistema fotovoltaico sem baterias o programa considera que haverá injeção na rede, sempre que durante o dia as necessidades da casa estejam satisfeitas.

3.7. Dados económicos

3.7.1 Orçamento

O orçamento do sistema, consiste na descrição individual dos equipamentos a instalar, bem como o preço individual de cada um. O orçamento considera que o preço do equipamento inclui a sua compra e instalação, sendo que pode ser inserida a mão-de-obra no espaço vago. Todas as descrições podem ser alteradas, no entanto a descrição das baterias tem de ser mantida na mesma célula, pois o valor das baterias será usado individualmente na avaliação económica para perceber o efeito que a substituição das baterias tem no retorno do sistema. No sistema fotovoltaico sem armazenamento que é usado como comparação, o orçamento deste é gerado automaticamente, subtraindo o valor das baterias. Isto é feito pois o valor dos equipamentos e estruturas a instalar é similar entre ambos.

3.7.1.1 Dados adicionais

Existem dados que são de importantes na análise financeira de um dado projeto, estes permitem determinar se um dado investimento será vantajoso ou não para o cliente.

O primeiro dado adicional é se deve ser incluído ou não o valor do IVA ao orçamento, esta opção não tem impacto na análise financeira, esta opção apenas existe para permitir que o utilizador crie orçamentos com ou sem IVA. No entanto é necessário ter atenção que caso se insira IVA, a tarifa da eletricidade também já o deve incluir.

O segundo dado adicional consiste na taxa de aumento anual da tarifa de eletricidade. Este valor tem grande influência na análise económica, pois o cliente final irá estar sujeito a este aumento, sendo que irá favorecer o retorno do sistema pois haverá maior receita devido ao acréscimo do valor da compra da energia. A subida do preço da energia não é constante, variando de ano para ano, a abordagem escolhida no programa foi definir o valor de 1.2%, que representa a subida do preço de 2016 para 2017, mas que também é a subida mais baixa nos últimos 10 anos (Suspiro, 2016). Este valor pode e deve ser atualizado para a data de realização do projeto.

O último dado é a taxa de atualização, este valor consiste numa taxa que considere as questões de inflação e custo de capital para o investimento feito, ou seja a remuneração mínima exigida

por um investidor. Esta taxa irá ser usada no cálculo do VAL, e irá definir a viabilidade económica de um sistema (Brandão, 2016).

3.8. Modelo de cálculo de vida útil

O programa usa o método de cálculo desenvolvido por Drouilhet e Johnson (1997) descrito na introdução deste documento. Este modelo necessita que sejam inseridas bastantes variáveis relativas ao sistema de armazenamento, mais concretamente em relação às características técnicas e a influência que as cargas têm nas baterias.

As variáveis que são necessárias obter estão divididas em duas categorias, os parâmetros técnicos das baterias e as características diárias das cargas.

3.8.1 Especificações técnicas das baterias:

- C_R = capacidade nominal em Ah para uma descarga à corrente I_R definida,
- D_R = profundidade de descarga pela qual o ciclo de vida foi determinado,
- L_R = ciclo de vida para dada D_R e corrente de descarga I_R .
- Parâmetros individuais baterias – U_0 , U_1 , e U_2

Dados obtidos pelo programa relativamente às cargas:

- D = profundidade de descarga diária,
- d_{actual} = valor efetivo da descarga de um evento, em Ah;
- C_A = capacidade fornecida pela bateria em Ah quando sujeita a determinado ritmo de descarga.

As especificações técnicas das baterias já se encontram inseridas no programa, o utilizador apenas tem de selecionar o tipo de bateria que pretende para o seu sistema, e assegurar-se que escolhe a tecnologia que equivale às baterias que pretende usar.

Os valores permitiram obter uma grande aproximação entre os ciclos de vida experimentais e os ciclos de vida teóricos obtidos usando este método. Na Figura 32 é possível observar a curva de tendência da vida útil fornecida pelo fabricante, em comparação com a obtida teoricamente pelo método usado no programa.

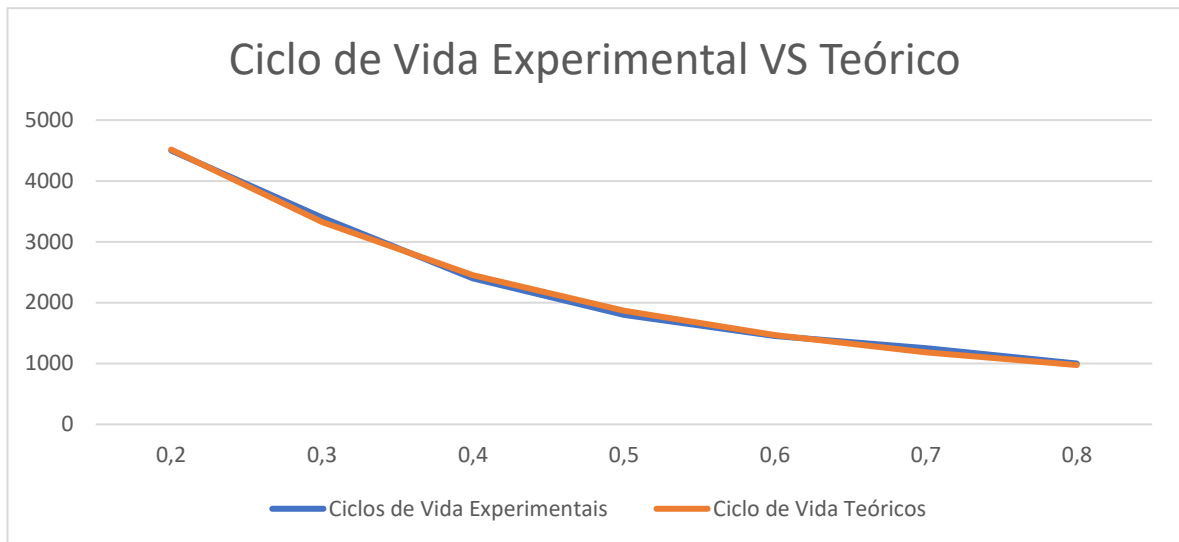


Figura 32 - Comparação ciclos de vida experimentais vs teóricos para a bateria Solar AGM

Na Figura 33 pode-se observar o gráfico criado com a variação da capacidade com a corrente de descarga, das baterias *Flooded* normal, embora as baterias usadas sejam de capacidade diferente é possível observar que as retas formadas pela variação de capacidade apresentam a mesma inclinação. Esta relação foi constante em todas as baterias de chumbo-ácido, sendo que o programa considerou a mesma curva independentemente das capacidades das baterias usadas. No entanto as cargas não têm valores certos como os C5, C20 e C100 usados nos cálculos, por isso o programa faz a interpolação de modo a obter a capacidade que as baterias irão fornecer à corrente de descarga imposta pela carga em uso.

As baterias de lítio, tal como antes descrito, foram consideradas ter um comportamento constante, ou seja, a capacidade das baterias não se altera com a corrente de descarga.

Na Tabela 10 estão todas as características e especificações técnicas das baterias usadas no programa. Os valores U_0 , U_1 , e U_2 foram calculados usando a função solver do Excel, através do método dos desvios quadráticos.

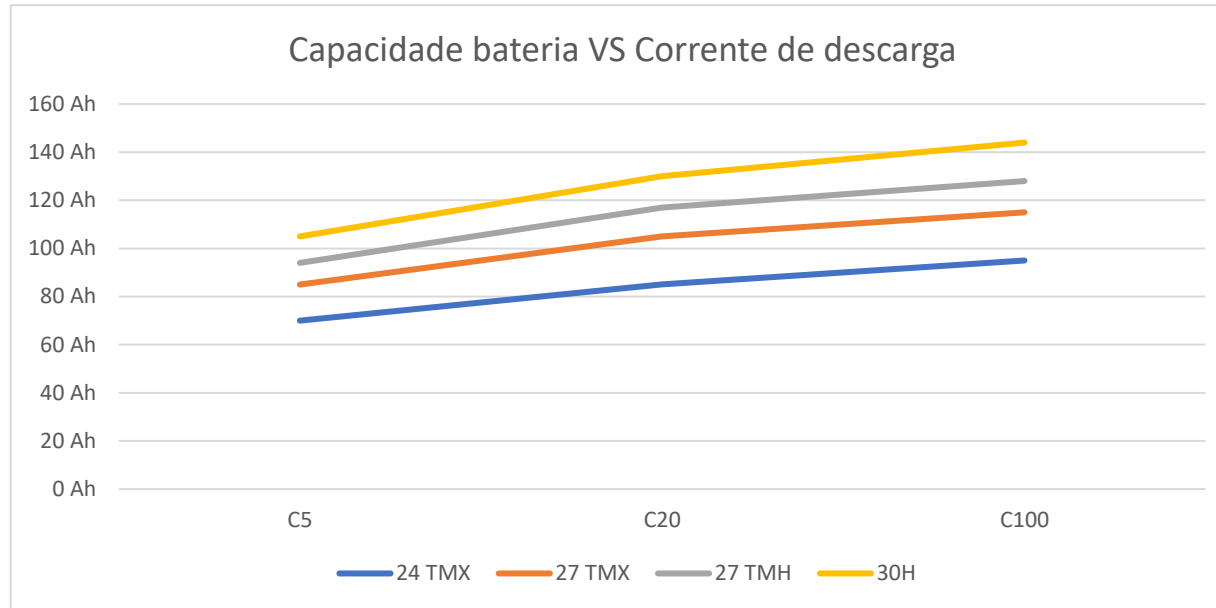


Figura 33 – Capacidade de diferentes baterias Flooded normal

Tabela 10 – Especificações técnicas das baterias usadas no programa

Categoria	Tecnologia	U0	U1	U2	C5	C20	C100	Ciclos de vida estimados	DOD
Lítio	LiFePo4	2,30631072	-0,216780356	521,4806168	1	1	1	2250	0,5
Lítio	NMC	0,143838603	-0,365752593	517,2504565	1	1	1	1050	0,5
Chumbo-ácido	Flooded Normal (600 ciclos)	1,385739436	-0,104626971	244,5057723	0,735632686	0,900726624	1	600	0,5
Chumbo-ácido	Flooded Normal (1200 ciclos)	1,194849269	-0,066448146	572,965878	0,740559583	0,904480755	1	1200	0,5
Chumbo-ácido	Flooded Premiun (1600 ciclos)	1,030279811	-0,016241317	827,7123986	0,731309128	0,903576928	1	1600	0,5
Chumbo-ácido	Solar AGM (1700 ciclos)	1,780932128	-0,24967722	697,6386639	0,880879968	0,967237767	1	1700	0,5
Chumbo-ácido	Gel de descarga profunda (1000 ciclos)	1,816291231	-0,29105479	394,9847789	0,758235397	0,90234585	1	1000	0,5

3.8.2 Metodologia usada na determinação de dados

O programa calcula automaticamente os dados D , d_{actual} e C_A . Todos os dados são calculados para cada dia, sendo os valores modificados consoante o estado das baterias (SoC) e as cargas associadas ao dia em questão.

O consumo determinado através da aquisição de dados feita na página inicial do programa tem de ser tratado de modo a obter a divisão das cargas consoante a fonte de energia que as satisfaz.

Na Figura 34 é descrita a hierarquização que o programa faz relativamente ao uso de energia e das suas fontes.

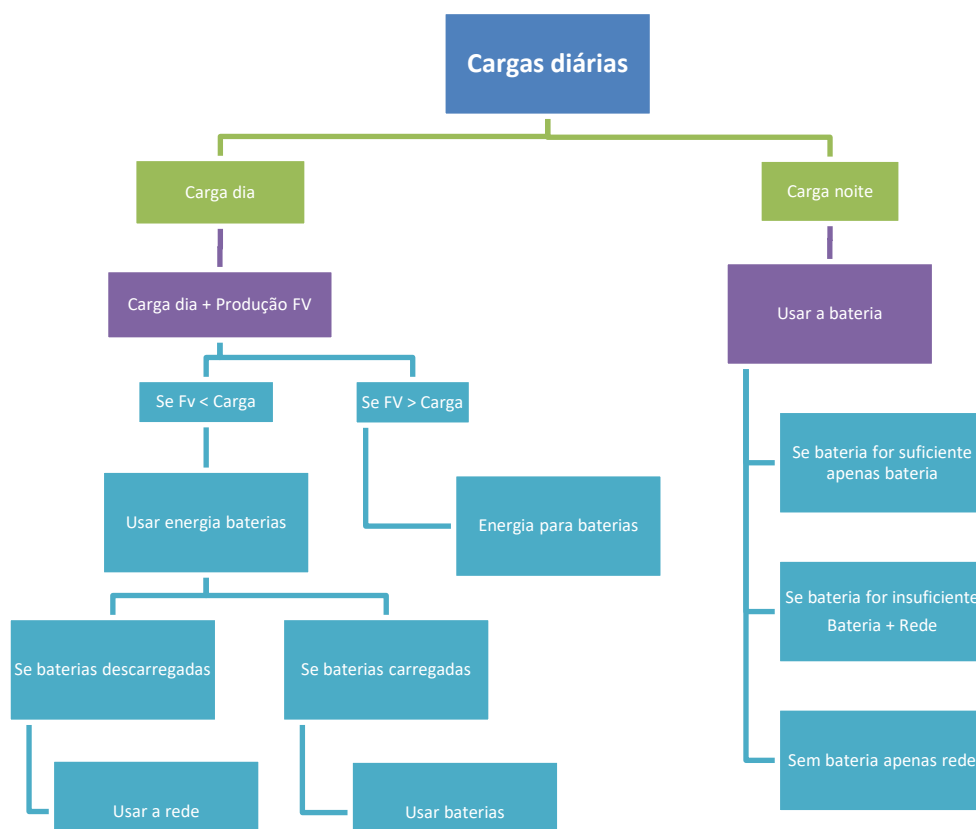


Figura 34 - Hierarquia da utilização de energia prevista pelo programa

O programa assume que se a carga durante o dia for menor que a produção fotovoltaica, todas as necessidades serão cobertas pela geração renovável.

O cálculo dos parâmetros necessários para a determinação da vida útil das baterias começa com distribuição das cargas. O programa calcula a quantidade de energia que é armazenada

durante o dia, este valor é calculado somando a energia total excedente do dia ao *SoC* das baterias do fim da noite anterior. Dos cálculos anteriores o mais relevante para a determinação do ciclo de vida consiste na quantidade de energia usada das baterias durante a noite, pois este valor é o que irá ser usado para o cálculo das variáveis necessárias.

O cálculo da energia usada durante a noite é feito segundo a Figura 35, é de notar que a capacidade disponível é considerada a energia que a bateria consegue fornecer antes de chegar ao *DOD* máximo definido.

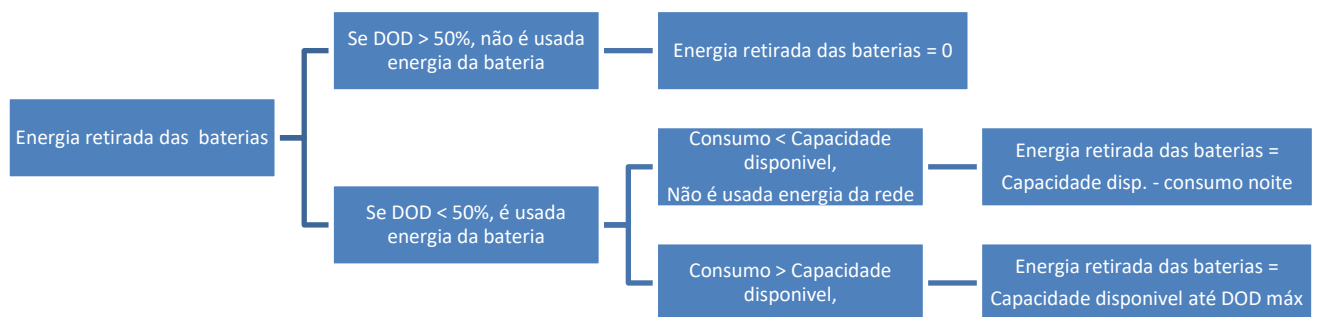


Figura 35- Método de cálculo para a determinação da variação do SoC das baterias

A determinação da descarga diária que ocorre nas baterias, tal como antes demonstrado consiste na variação do estado da bateria entre o início e o fim da noite. Assim é possível determinar o parâmetro d_{actual} , bastando para isso converter o consumo de Wh para Ah de modo a poder ser usado para a determinação da vida útil das baterias. Para converter o consumo de Wh para Ah basta usar a equação 12 (Bird, 1995).

$$C = \frac{E}{U} \quad (12)$$

Onde:

C = Capacidade usada, Ah,

E = Energia consumida, Wh

U = Tensão de operação do sistema, Volt

A corrente de descarga para obter o parâmetro C_A de cada descarga, foi determinado usando o valor médio dos consumos noturno, ou seja, os consumos noturnos que são satisfeitos pelas baterias são divididos pelo número de horas de operação das baterias. Este cálculo fornece o consumo médio por hora de operação. De modo a perceber qual a C_A à corrente de descarga usada em determinada noite, é necessário saber a corrente que foi necessária através da

análise dos consumos médios. A corrente obtida foi calculada usando a equação 13 (Bird, 1995).

$$I = \frac{E_m}{U} \quad (13)$$

Onde:

I = Corrente de descarga média, A;

E_m = Energia média consumida, Wh;

U = Tensão de operação do sistema, Volt.

Após determinada a corrente média de descarga através dos valores conhecidos da capacidade para descargas a C5, C20 e C100, por interpolação foi determinada a capacidade da bateria para a descarga em questão.

O cálculo do parâmetro D, que consiste na profundidade de descarga foi realizado tendo em conta a variação de carga. O método de cálculo da profundidade de descarga ainda não tem uma metodologia aceite, pois embora seja fácil determinar que a descarga de uma bateria de 100% para 50% de *SoC* represente um *DOD* de 50%, relativamente aos microciclos ainda não existe um método de cálculo consensual. Os microciclos consistem na descarga parcial da bateria a diferentes *SoC*, normalmente o *DOD* é calculado a partir do *SoC* da bateria a 100%, no entanto estas nem sempre se encontram totalmente carregadas e podem fazer descargas entre os 70% e 50% de *SoC*, sendo possível determinar que a variação de *SoC* é de 30%, mas necessário entender qual será o *DOD*. Existem dois métodos possíveis de usar, o primeiro consiste em assumir uma descarga total entre a capacidade total da bateria e o *SoC* da descarga, este método assume que embora a descarga seja parcial ela é assumida como uma descarga total até ao *DOD* final. O segundo método e o que provou devolver resultados mais fiáveis, consiste em considerar que o *DOD* é uma função dos Ah retirados da bateria (Wilfred Ley et al, 2009), ou seja uma descarga parcial terá apenas um *DOD* entre os diferentes *SoC*.

Assim sendo, a *DOD* das descargas foi calculada segundo a equação 14 (Wilfred Ley et al, 2009):

$$DOD = \frac{d_{actual}}{C_{Bat}} \quad (14)$$

Onde:

d_{actual} = Capacidade usada na descarga, Ah

C_{Bat} = Capacidade global do sistema de armazenamento, Ah

O método de previsão necessita de um perfil de consumo que represente um ano de utilização das baterias e dos efeitos de desgaste que este perfil impõe nas baterias. Assim sendo, todos os cálculos antes referidos foram repetidos numa série anual, e tendo em conta as possíveis variações de consumo que acontecem ao longo do ano, sendo que este perfil foi considerado idêntico para os 25 anos de operação do sistema.

Após a análise de todos os inputs e dos dados calculados pelo programa, irá ser realizada a compilação do desgaste das baterias, de modo a ser possível calcular a vida útil do sistema de armazenamento nas condições especificadas. O programa devolve a vida útil das baterias em anos e meses.

3.9. Avaliação económica

A avaliação económica tem como propósito avaliar o retorno e viabilidade de um sistema, existem inúmeros indicadores económicos, no entanto apenas alguns se enquadram para o nosso caso de estudo. Os indicadores necessários terão de ser fáceis de entender e de tirar conclusões, de modo que o utilizador e respetivo cliente consigam perceber o seu significado. Os resultados irão ser representados numericamente e graficamente de modo a tornar a leitura e perceção mais intuitiva.

3.9.1 Payback

O primeiro indicador usado foi o *Payback* (tempo de retorno simples), este consiste no quociente entre o investimento que o projeto representa ao longo da duração do mesmo (incluindo custos de investimento, exploração e manutenção), e o rendimento anual do projeto. O resultado deste quociente representa o número de anos que o investidor terá de esperar até se ressarcir de todos os seus investimentos no projeto. Este indicador não considera fatores importantes tais como a inflação ou custo de capital, no entanto permite uma primeira aproximação à avaliação do projeto (Brandão, 2016).

3.9.2 Valor atualizado Líquido (VAL)

O VAL é sinónimo do valor que determinado projeto representa, numa dada altura no tempo considerando todos os parâmetros relativos ao custo temporal do dinheiro. Este indicador é muito usado por investidores de modo a perceber se dado projeto terá ou não viabilidade.

A equação 15 traduz uma das expressões que pode ser utilizada para calcular o VAL para projetos relacionados com energias renováveis.

$$VAL = -I + (R - C) \left[\frac{(1 + a)^n - 1}{a(1 + a)^n} \right] \quad (15)$$

Onde:

I = valor do investimento, €;

R = valor das receitas anuais do projeto ao longo do período de duração do mesmo, €;

C = Valor dos custos anuais do projeto ao longo do período de duração do mesmo, €;

a = Taxa de atualização do investimento, ou seja, uma taxa de juro que considere as questões de inflação e custo de capital para o investimento, %;

A análise do resultado do VAL pode representar as seguintes conclusões:

- $VAL > 0$ – O projeto é economicamente viável, uma vez que o VAL é superior a zero, permite cobrir o investimento inicial, gerar a remuneração mínima exigida pelo investidor, e ainda gerar excedente financeiro.
- $VAL = 0$ – O projeto é economicamente viável, pois permite a recuperação completa do investimento inicial, bem como obter a remuneração exigida pelos investidores.
- $VAL < 0$ – O projeto não é economicamente viável (Brandão, 2016).

3.9.3 Taxa interna de retorno (TIR)

A TIR corresponde ao valor da taxa de atualização do investimento, que torna o VAL num investimento igual a zero. Sendo que no caso é rentável a implementação de um projeto, sempre que a sua TIR seja superior à taxa de juro de referência, que neste caso é o custo de oportunidade de capital. Caso o valor da TIR seja negativa, isto significa que o investimento não é rentável, e o valor obtido corresponde à taxa a que se está a perder capital (Brandão, 2016).

3.9.4 *Levelized cost of energy (LCOE)*

O *LCOE* pode se definido como o preço que o cliente irá pagar pela energia gerada pelo sistema híbrido ao longo da sua vida útil. Este parâmetro pode ser usado em qualquer tecnologia, no entanto neste caso de estudo a sua utilidade centra-se na sua facilidade de percepção pelo cliente, e de ser possível perceber se o sistema é viável ou não.

$$LCOE = \frac{Custo\ total_{LT}}{Produção\ de\ energia_{LT}} \quad (16)$$

Onde:

LCOE = Levelized cost of energy, €/kWh

*Custo total*_{LT} = Custo total de instalação e manutenção do sistema durante a sua vida útil, €

*Produção de energia*_{LT} = Energia gerada pelo sistema durante a sua vida útil, kWh

A análise do valor do LCOE permite avaliar a viabilidade do sistema:

- $LCOE > \text{Preço energia}$ – o sistema não é viável,
- $LCOE = \text{Preço energia}$ – o sistema é viável, mas não gera qualquer poupança,
- $LCOE < \text{Preço energia}$ – o sistema é viável, e gera uma poupança que será maior quanto mais baixo for o LCOE em relação ao preço da energia da rede (Seth B. Darling, 2011).

No entanto é necessário ter em atenção no uso deste indicador, pois o preço da energia varia ao longo do tempo. Logo um *LCOE* maior do que o preço da energia atual, pode no futuro inverter esta tendência podendo alterar a viabilidade do sistema. Assim sendo este indicador não deve ser usado individualmente na análise económica dos projetos.

4. Caso de estudo

4.1. Caracterização caso de estudo

As metodologias aplicadas no programa *SPSA*, são neste capítulo aplicadas numa habitação unifamiliar localizada no distrito do Porto.

A habitação usada para o caso de estudo terá como base a representação dos consumos médios de uma típica habitação portuguesa. Foram usados valores médios para a dimensão da casa, do agregado familiar, bem como de todas as outras variáveis que têm influência no consumo de energia elétrica.

Contudo existem algumas limitações quanto ao tipo de habitação a utilizar, pois apartamentos ou habitações multifamiliares não apresentam condições favoráveis para o uso de sistemas híbridos, devido à ausência de área utilizável individual para a incorporação do grupo fotovoltaico. Os sistemas híbridos podem ser incorporados em qualquer escala, podendo alimentar um prédio ou mesmo uma moradia com vários fogos, na obstante o objetivo de estudo desta dissertação é a incorporação deste tipo de sistemas em habitações unifamiliares.

Segundo dados do Instituto Nacional de Estatística (INE), que reuniu os dados relativos a novas construções e reabilitações do meio urbano em 2010, cerca de 50 % dos fogos em Portugal eram moradias, com exceção do centro urbano de Lisboa e Algarve onde

predominam os apartamentos (INE, 2010). O estudo mais recente, revela que a área média por fogo concluído em 2016 em Portugal, é de 89 m², sendo que para o nosso estudo o valor será arredondado em excesso para 100m² de modo a contabilizar as casas mais antigas que o mesmo estudo mostra serem com áreas habitáveis maiores que 100m² (INE, 2016).

A dimensão dos agregados familiares em Portugal tem vindo a diminuir ao longo dos anos e encontra-se neste momento em 2,5 pessoas por agregado (PORDATA, 2016). No entanto para o caso de estudo o agregado familiar médio foi considerado conter 3 pessoas.

A habitação modelo não terá limitações quanto ao espaço para a colocação de painéis fotovoltaicos e estará orientada a Sul, isto é feito de modo a fornecer as condições mais adequadas e a não inserir mais variáveis que possam interferir no resultado final. Contudo o programa está apto a calcular qualquer tipo de situação.

Para melhor entender a influência que as baterias têm nos sistemas híbridos, serão feitos dois casos de estudo, um com baterias de chumbo e outro com baterias de lítio

Na Tabela 11 estão resumidos os dados relativos à habitação da casa de estudo.

Tabela 11 - Dados da habitação do caso de estudo

<i>Descrição</i>	<i>Dados</i>
<i>Área útil habitação</i>	100 m ²
<i>Tamanho agregado familiar</i>	3 pessoas
<i>Localização</i>	Porto
<i>Orientação Habitação</i>	Sul
<i>Inclinação do telhado</i>	35 °

4.1.1 Tarifa de eletricidade

A tarifa de eletricidade usada no caso de estudo foi a tarifa simples, pois o preço da eletricidade é constante. Esta irá potenciar a poupança principalmente à noite, quando a energia proveniente das baterias ajuda a diminuir o consumo da rede. Na tarifa bi-horária o preço à noite a partir das 22 h reduz significativamente, o que irá tornar o uso de baterias menos favorável.

A empresa fornecedora de eletricidade será a EDP serviço universal, com uma potência contratada de 6.9 kVA, um custo de 9,32 €/mês por encargos de potência e por último um custo de 0.1659 €/kWh (ERSE, 2017).

4.1.2 Perfil de consumo

O perfil de consumo médio de uma habitação é um valor difícil de obter, contudo para a obtenção do perfil de consumo do caso de estudo foram utilizados valores médios para o uso e potência de cada equipamento em Portugal.

Na Tabela 12, é possível observar as potências médias de cada equipamento doméstico e o seu consumo mensal.

Tabela 12 - Consumos médio de equipamentos domésticos (EDP, 2017a)

<i>Equipamento</i>	<i>Potência (watt)</i>	<i>Consumo Médio Mensal (kWh)</i>
<i>Iluminação</i>	500	12
<i>Ferro de engomar</i>	1000	15
<i>Secador</i>	500	5
<i>Televisão</i>	200	30
<i>Arca congeladora</i>	200	30
<i>Frigorífico</i>	200	40
<i>Máquina de lavar roupa</i>	2500	50
<i>Máquina de lavar loiça</i>	3000	60
<i>Fogão elétrico</i>	5000	150
<i>Forno elétrico</i>	2000	20
<i>Fritadeira elétrica</i>	1500	10
<i>Computador</i>	250	15
<i>Microondas</i>	1000	2
<i>Termoacumulador</i>	12 – 14 (W/litro)	200
<i>Aquecimento</i>	70 – 90 (W/m ²)	15 – 20 (kWh/m ²)
<i>Ar condicionado</i>	15 – 20 (W/m ²)	15 – 20 (kWh/m ²)

Na casa modelo o uso dos equipamentos foi obtido através de estatísticas e de cálculos que permitam obter os valores médios mensais para o consumo de cada equipamento. Mas,

contudo, não foram inseridos todos os equipamentos em cima descritos, a casa modelo considerada não tem fogão elétrico e a produção de AQS recorre a uma tecnologia que não a elétrica, sendo assim desprezável para a análise.

A divisão horária foi pensada de modo a corresponder ao caso típico das famílias portuguesas, ou seja, grande parte dos consumos são ao final da tarde e início da noite, quando a maioria das pessoas volta a casa. Foi também considerado que ao meio dia existe consumo, devido a elementos do agregado familiar que possam voltar a casa na hora de almoço. No entanto o consumo é inferior ao consumo noturno, devido à menor necessidade do uso dos equipamentos.

Os dados inseridos no programa para a determinação dos consumos foram os apresentados na Tabela 13 :

Tabela 13 - Tabela usada no programa para obter o consumo da casa modelo

Determinação de Consumos		Dias da semana		Fim-de-semana	
		Número de horas de utilização		Número de horas de utilização	
Equipamentos	Potência (Watts)	Dia	Noite	Dia	Noite
Iluminação	500 W	0,1	0,6	0,3	0,7
Ferro de engomar	1000 W	0,5	0	0,6	0
Secador	500 W	0,2	0,1	0,25	0,15
Televisão	200 W	2	3	2	2,5
Arca congeladora	200 W	0	0	0	0
Frigorífico	200 W	3	3,5	3	3
Fogão elétrico	5000 W	0	0	0	0
Fritadeira elétrica	1500 W	0,1	0,2	0,1	0,1
Computador	250 W	0,5	1	2	1
Microondas	1000 W	0,05	0,05	0,05	0,05
Sub-total		1,98 kWh	2,25 kWh	2,58 kWh	1,93 kWh

Além dos equipamentos usados na Tabela 13, é necessário introduzir as máquinas de grande consumo que foram consideradas para a casa de estudo, estas foram:

- uma máquina de lavar roupa (usada segunda-feira, quarta-feira e à sexta-feira);
- uma máquina de lavar louça (usado dia sim, dia não);
- um forno elétrico (usado aos fins-de semana).

O aquecimento de AQS, foi definido ser obtido através de esquentador sem apoio de solar térmico.

O aquecimento ambiente foi considerado ser feito por aquecimento elétrico, e que este climatizava 75% da casa.

Com todos os dados inseridos no programa, este cria o perfil de consumos da casa de estudo para um ano inteiro, sendo que o perfil gerado para este caso pode ser visto na Figura 36.

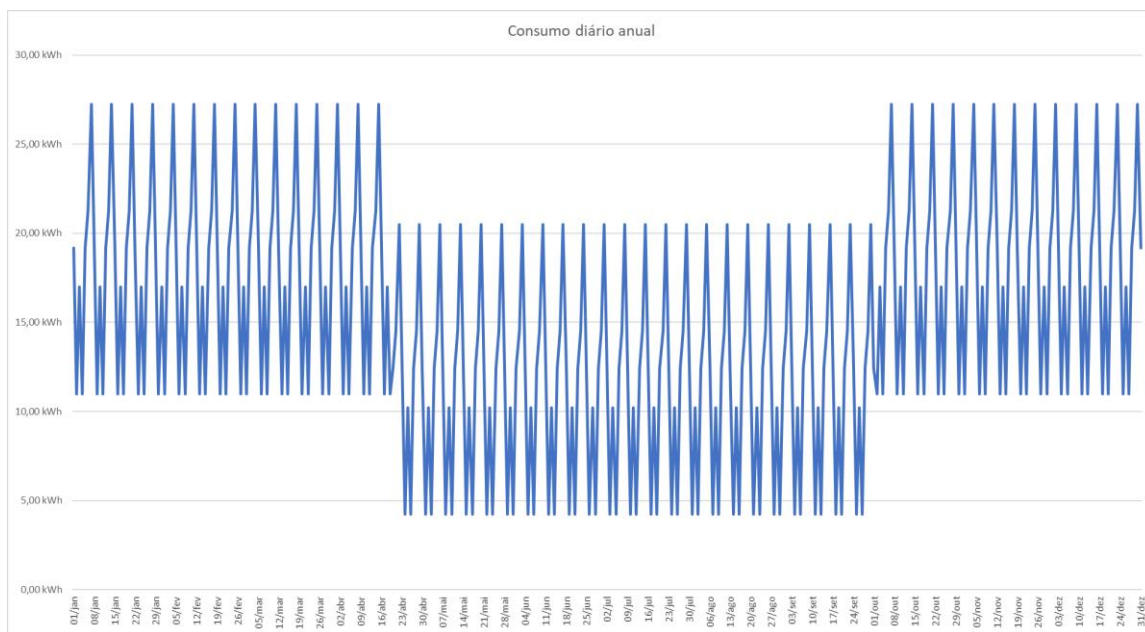


Figura 36 - Perfil de consumo casa modelo

O perfil gerado mostra as variações que ocorrem no consumo da casa modelo ao longo de um ano. Podem ser observadas as variações semanais nas pequenas oscilações que se repetem ao longo do ano, e ainda se pode observar a variação no consumo derivada da estação de aquecimento, sendo que os consumos são superiores na estação de aquecimento e inferiores no resto do ano.

O perfil criado embora apresente uma variação constante este é uma média dos consumos anuais, englobando em si as oscilações que podem ocorrer diariamente e que não são possíveis de prever, devido a imprevisibilidade do comportamento humano e do ambiente que o rodeia.

4.1.3 Sistema fotovoltaico

O sistema fotovoltaico a incorporar no caso de estudo, terá de ser constituído por um número de módulos fotovoltaicos capaz de produzir energia suficiente para satisfazer as necessidades diárias, e gerar energia excedente para ser armazenada nas baterias que por sua vez será usada nos períodos noturnos ou de falta de recurso solar.

A determinação do número exato de módulos a usar é normalmente considerada como um exercício de tentativa e erro, pois a geração fotovoltaica não é constante ao longo do ano. Logo é necessário estudar através dos programas de previsão de produção fotovoltaica qual

a potência necessária de modo a que não seja injetada muita energia na rede durante os meses de verão e que nos meses de inverno exista produção satisfatória.

Contudo, como no caso de estudo não sabemos qual a dimensão do telhado onde será colocado o grupo fotovoltaico, para a determinação do número de módulos a usar foi usado o valor médio de painéis que a empresa onde foi realizada esta dissertação prevê que seja possível instalar numa casa comum. Este valor foi pensado tendo em conta as limitações técnicas impostas pelo formato dos telhados, bem como as sombras que nestes existem devido a vegetação ou chaminés.

Tendo em consideração o que antes foi referido o caso de estudo irá ter 12 painéis fotovoltaicos da marca *Luxor*, sendo estes policristalinos de 250 W de potência de pico. Na Tabela 14 estão as especificações técnicas do painel usado.

Tabela 14 - Características painel fotovoltaico Luxor (LUXOR, 2017)

<i>Especificações Técnicas Módulo Policristalino Luxor 250W</i>		
<i>Características</i>	Valor	Unidade
<i>Potência máxima</i>	250	Watt
<i>Corrente IMPP</i>	8.34	Ampere
<i>Tensão VMPP</i>	30	Volts
<i>Corrente curto-circuito</i>	8.84	Ampere
<i>Tensão circuito-aberto</i>	37.29	Volt
<i>Eficiência Máxima</i>	15.38	%
<i>Área do painel</i>	1.62	m ²
<i>Custo</i>	260	Euro / Uni

O preço do painel fotovoltaico, inclui o preço de aquisição e montagem do mesmo.

O grupo fotovoltaico ficou constituído por 12 painéis fotovoltaicos, cada um com 250 W, perfazendo uma potência de pico total de 3 kW. Tal como antes foi referido a inclinação do telhado é de 35° e está orientado a sul:

Com os dados anteriores o programa de cálculo *PV-GIS* devolveu os valores presentes na Tabela 15.

Tabela 15 - Produção fotovoltaica estimada pelo PV-GIS

<i>Sistema Fixo: inclinação =35°, azimuth=0°</i>		
<i>Mês</i>	<i>Energia diária, kWh</i>	<i>Energia mensal, kWh</i>
<i>Janeiro</i>	8.69	269
<i>Fevereiro</i>	12.10	339
<i>Março</i>	14.50	450
<i>Abril</i>	14.70	441
<i>Mai</i>	16.00	495
<i>Junho</i>	16.40	493
<i>Julho</i>	17.10	529
<i>Agosto</i>	17.00	527
<i>Setembro</i>	16.00	479
<i>Outubro</i>	12.60	391
<i>Novembro</i>	9.64	289
<i>Dezembro</i>	8.16	253
<i>Média anual</i>	13.6	413
<i>Total anual</i>	4960	

O PV-GIS incluiu as seguintes perdas:

- Perdas estimadas por efeitos de reflexão angular: 2.7%
- Perdas combinadas do sistema fotovoltaico: 13.1%
- Perdas estimadas devido à temperatura ou baixa luminosidade: 10.7%

Após a seleção dos painéis fotovoltaicos e verificada que a produção era suficiente, foi necessário selecionar um inversor que conseguisse suportar a potência gerada pelos painéis, e fornecer a potência que a habitação necessita.

Assim sendo o inversor escolhido foi o Axpert AX-M 5000-48, este inversor consegue lidar com toda a produção fotovoltaica, e consegue satisfazer as necessidades da casa modelo, exceto em casos de potência muito elevadas.

O inversor selecionado será usado como base para ambos os casos de estudo.

As características técnicas estão descritas na Tabela 16.

Tabela 16 -Especificações técnicas Axpert AX-M 5000-48

<i>Especificações Técnicas Axpert AX-M 5000-48</i>	
Características PV- Carregamento	
<i>Potência máxima PV</i>	3000 Watt
<i>Tensão máxima de entrada Uocv</i>	145 VDC
<i>Tensão mínima de entrada</i>	34 VDC
<i>Tensão banco de baterias</i>	48 VDC
<i>Corrente de carga</i>	2-60 Ampere
<i>Eficiência</i>	98 %
<i>Tecnologia</i>	MPPT
Características AC	
<i>Potência máxima</i>	4000 Watt
<i>Eficiência máxima</i>	90%
<i>Proteção de excesso de potência</i>	5s se $P > 150\% P_{\text{máx}}$, 10s se $P > 110-150\% P_{\text{máx}}$
<i>Tensão de saída</i>	230 VAC
Custo	1200 €

O inversor selecionado tem uma tensão do banco de baterias de 48 V, pois em potências superiores a 5 kVA, os inversores híbridos apenas funcionam com esta tensão.

O inversor, embora seja de uma potência inferior aos 6.9 kVA do contrato de fornecimento de energia, a casa modelo não irá estar a consumir perto destes valores com grande frequência, sendo que sempre que a casa necessite de potências elevadas o inversor irá fazer bypass, ligando a casa diretamente à rede e evitando que este se danifique.

A opção de usar dois inversores de modo a alimentar a potência máxima da casa não se justifica devido ao grande investimento necessário, face à mais valia que seria obtida.

4.1.4 Casa modelo com armazenamento em baterias de chumbo-ácido

O primeiro caso de estudo será o uso da casa modelo com a utilização de um sistema de híbrido com baterias de chumbo.

As baterias de chumbo são uma tecnologia bem implementada no mercado, sendo robustas e tendo um preço inferior às outras tecnologias, mas apresentam limitações relativamente à sua vida útil, o que pode levar a que o seu uso em sistemas híbridos seja limitado.

No caso de estudo foram mantidos todos os dados definidos anteriormente, sendo que foram usadas baterias de chumbo-ácido, apropriadas para sistemas de armazenamento. Este tipo de baterias foi escolhido devido à sua grande robustez e vida útil para sistemas de descarga profunda.

A bateria escolhida foi a da marca Trojan, modelo T105RE, com uma capacidade de 250 Ah a C100 e tensão de 6V.

Esta bateria encontra-se na categoria *Premium Line Flooded*, sendo especialmente desenhada para aplicações em energias renováveis.

Tabela 17 - Características Trojam T105RE

<i>Características bateria Trojam T105RE</i>	
<i>Tensão</i>	6 Volt
<i>Ciclos de vida</i>	1600 ciclos com 50% DOD
<i>Capacidade kWh (C100)</i>	1.5 kWh
<i>Capacidade Ah</i>	
<i>C5</i>	185 Ah
<i>C20</i>	225 Ah
<i>C100</i>	250 Ah
<i>Preço</i>	265 €/uni

De modo a perfazer a tensão de 48 V, são necessárias 8 baterias conectadas em série.

A capacidade total das baterias pode ser obtida somando a capacidade em kWh de todas as baterias, ou caracterizando o sistema pela sua tensão (48 V) e pela capacidade individual em Ah de uma bateria (250 Ah). A capacidade é então 12 kWh ou 250 Ah.

As características deste sistema são as presentes na Tabela 18.

Tabela 18 - Características sistema híbrido com baterias de chumbo-ácido

Gerador Fotovoltaico	Total de painéis	12
	Número de painéis por fileira	3
	Número de fileiras	4
	Potência de pico (kWp)	3
Sistema de armazenamento	Total de baterias	8
	Número de baterias em série	8
	Capacidade de armazenamento (kWh)	12
	DOD máximo (%)	50
	Substituição baterias em final de vida	Sim

O sistema anterior teve o orçamento descrito na Tabela 19.

Tabela 19 - Orçamento caso de estudo baterias de chumbo

Equipamento	Unidades	Preço unidade (€)	Sub-total (€)
Painéis Fotovoltaicos 250 W	12	260	3120
Inversor Híbrido 5 kW	1	1200	1200
Baterias	8	265	2120
Cablagem	1	300	300
Estrutura	1	400	400
Monitorizador de produção	1	115	115
-	-	-	-
Total			7255 €
Montante de IVA			1669 €

O programa *SPSA* analisou os dados inseridos e foram obtidos os seguintes parâmetros:

- Total anual de energia renovável utilizada: 3924,1 kWh
- Total anual de energia armazenada: 1280,3 kWh
- Energia anual gerada em excesso: 803,4 kWh
- Energia anual necessária da rede: 1636,1 kWh
- Percentagem de diminuição de consumo: 71%

O sistema de armazenamento ao longo da sua vida útil irá operar segundo os seguintes parâmetros:

- Percentagem de dias com bateria carregada: 47%;
- Energia média não capturada por bateria estar cheia: 2,2 kWh/dia
- Percentagem de dias com bateria totalmente descarregada: 79%

- Energia média diária em falta: 4,48 kWh/dia;
- *DOD* médio: 29,3%;
- Vida útil das baterias: 8 anos e 7 meses.

O sistema usado permite uma poupança significativa quando comparado com o mesmo sistema, mas sem baterias. Na Figura 37 é possível observar a poupança adicional que se consegue obter com o uso do sistema de armazenamento, face ao sistema tradicional.

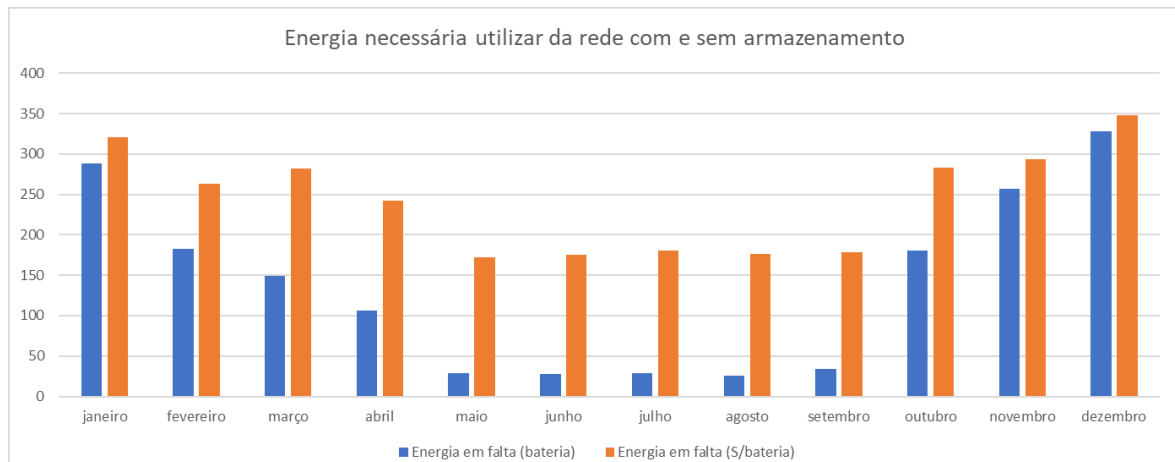


Figura 37 – Comparação energia necessária da rede no caso de estudo, com e sem armazenamento de baterias de Chumbo-ácido

A Figura 38 demonstra como o sistema com baterias apresenta um cash-flow maior, mas que devido à necessidade de reinvestir no sistema de armazenamento sempre que este chega ao seu fim de vida, isto leva a que o tempo de retorno seja maior e que o investimento possa não ser tão vantajoso para o cliente.

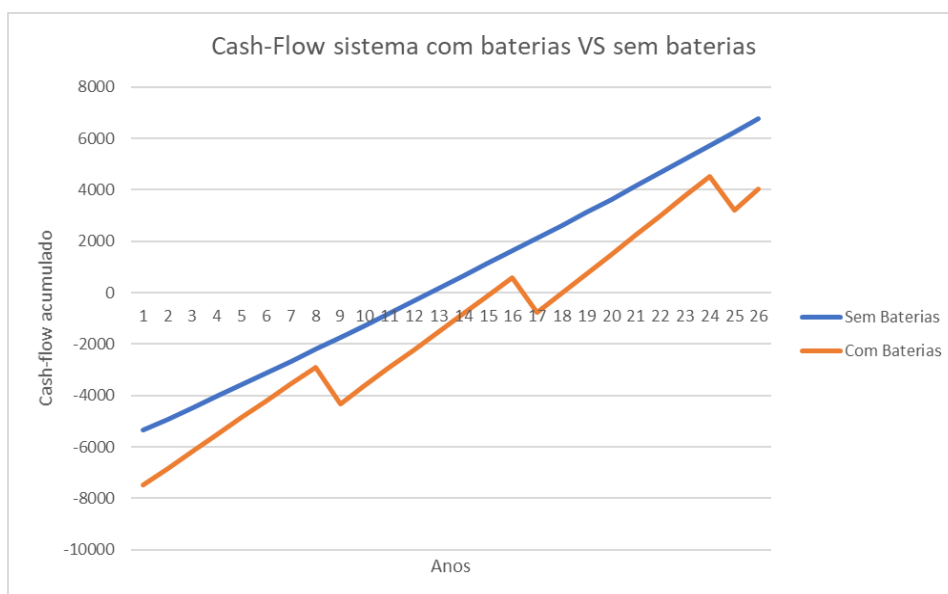


Figura 38- Cash-Flow acumulado sistema com e sem armazenamento de baterias de Chumbo-ácido

Na Tabela 20 podem ser observados os valores económicos do caso de estudo com e sem armazenamento.

Tabela 20 - Dados económicos caso de estudo baterias de Chumbo-ácido

_	Investimento (€)	Payback		TIR	VAL (€)	LCOS (€/kWh)
		Anos	Meses			
Sistema com baterias	7255	14	9	4%	3578	0,146
Sistema sem baterias	5135	10	11	3%	6224	0,0811

4.2. Casa modelo com armazenamento em baterias de lítio

O segundo caso irá consistir o uso do mesmo perfil de consumo e do mesmo gerador fotovoltaico que o caso de estudo anterior. No entanto o sistema de armazenamento será substituído, de baterias de chumbo-ácido para baterias de lítio.

As baterias de lítio são uma tecnologia ainda recente que promete revolucionar o armazenamento de energia, mas que, contudo, ainda não existem dados concretos relativos à sua longevidade neste tipo de aplicação.

As baterias de lítio ao contrário do que acontece com as baterias de chumbo, não podem ser alteradas ou configuradas para diferentes tensões pelo utilizador, estas vêm de fábrica celadas e prontas a utilizar a uma tensão fixa.

O sistema de armazenamento escolhido foi da marca LG, modelo LG CHEM RESU 10 *li-ion* 10 kWh. A escolha desta bateria está relacionada com o seu preço competitivo, a marca ser de confiança e ainda a alta expectativa de vida anunciada pelo fabricante.

A química das células usadas não foi possível de determinar, o vendedor não tem acesso a essa informação, pois a marca não a fornece. Assim sendo a previsão de ciclos de vida foi feita recorrendo à tecnologia LiFePO₄. Esta tecnologia não é a mais comum em *ESS*, contudo os dados técnicos obtidos são os que melhor representam a tecnologia em si.

As baterias de lítio não são modulares como as baterias de chumbo-ácido, sendo assim é necessário escolher as opções disponíveis no mercado. Através do estudo do mercado a bateria que surgiu como equivalente ao sistema de armazenamento com baterias de chumbo foi a descrita na Tabela 21, no entanto é de notar que este sistema tem menos 2 kWh de armazenamento face ao caso anterior com baterias de chumbo-ácido.

Tabela 21 – Características LG Chen 10 kWh

<i>Características bateria LG Chem RESU 10 li-io 10 kWh</i>	
<i>Tensão</i>	48 Volt
<i>Ciclos de vida</i>	Desconhecido
<i>Capacidade kWh (C100)</i>	10 kWh
<i>Preço</i>	5045 €/uni

As características deste sistema são as presentes na Tabela 22.

Tabela 22 - Características sistema híbrido com baterias de lítio

Gerador Fotovoltaico	Total de painéis	12
	Número de painéis por fileira	3
	Número de fileiras	4
	Potência de pico (kWp)	3
Sistema de armazenamento	Total de baterias	1
	Capacidade de armazenamento (kWh)	10
	DOD máximo (%)	50
	Substituição baterias em final de vida	Sim

O *DOD* máximo foi estipulado em 50%, pois após análise dos resultados obtidos no programa *SPSA*, foi possível constatar que se o valor de *DOD* fosse mais baixo do que o estipulado, seria necessário efetuar duas trocas de bateria ao longo do projeto, enquanto que com o *DOD* definido a 50% apenas era necessário efetuar uma troca.

O sistema descrito teve o orçamento descrito na Tabela 23

Tabela 23 - Orçamento caso de estudo baterias de chumbo

Equipamento	Unidades	Preço unidade (€)	Sub-total (€)
Painéis Fotovoltaicos 250 W	12	260	3120
Inversor Híbrido 5 kW	1	1200	1200
Baterias	1	5045	5045
Cablagem	1	300	300
Estrutura	1	400	400
Monitorizador de produção	1	115	115
–	–	–	–
Total			10180 €
Montante de IVA			2341 €

O programa *SPSA* analisou os dados inseridos e foram obtidos os seguintes parâmetros:

- Total anual de energia renovável utilizada: 3788,9 kWh
- Total anual de energia armazenada: 1145,2 kWh
- Energia anual gerada em excesso: 1145,2 kWh
- Energia anual necessária da rede: 1771,2 kWh
- Percentagem de diminuição de consumo: 68%

O sistema de armazenamento ao longo da sua vida útil irá operar segundo os seguintes parâmetros:

- Percentagem de dias com bateria carregada: 51%;
- Energia média não capturada por bateria estar cheia: 2,57 kWh/dia
- Percentagem de dias com bateria totalmente descarregada: 87%
- Energia média diária em falta: 4,85 kWh/dia;
- *DOD* médio: 31,3%;
- Vida útil das baterias: 15 anos e 3 meses.

O uso de sistema de armazenamento permite que exista uma redução significativa face a um sistema fotovoltaico sem armazenamento. Na Figura 39 está demonstrada a energia possível de poupar usando sistema de armazenamento de lítio, em comparação com sistemas sem armazenamento.

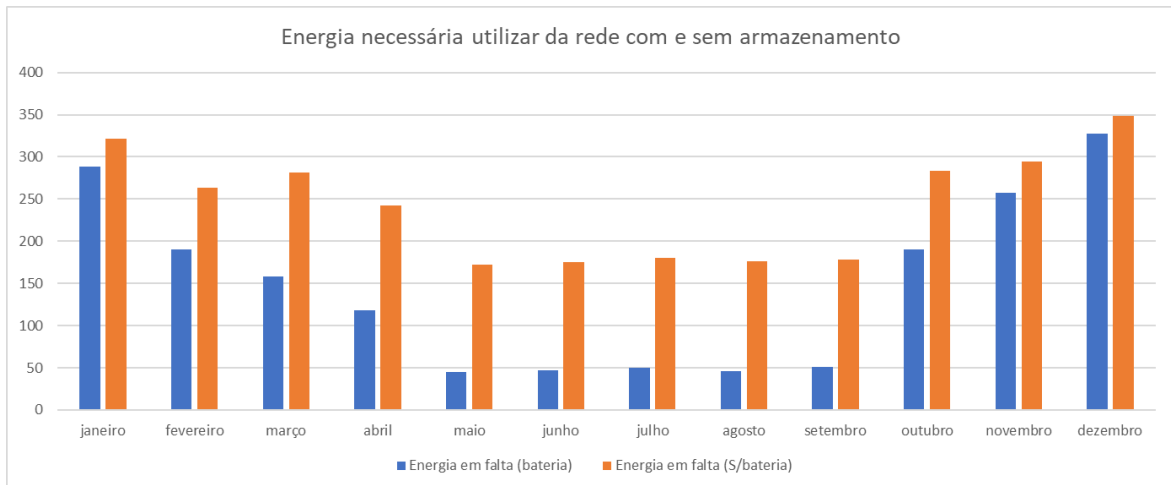


Figura 39 - Comparação energia necessária da rede no caso de estudo, com e sem armazenamento de baterias de lítio

Na Figura 40 é feita a comparação entre o *cash-flow* acumulado entre o sistema híbrido em estudo e o mesmo sistema sem armazenamento. Esta comparação demonstra como a necessidade de aquisição de baterias durante a vida útil do projeto origina que o retorno do sistema se estenda no tempo e que a viabilidade económica do sistema seja afetada.

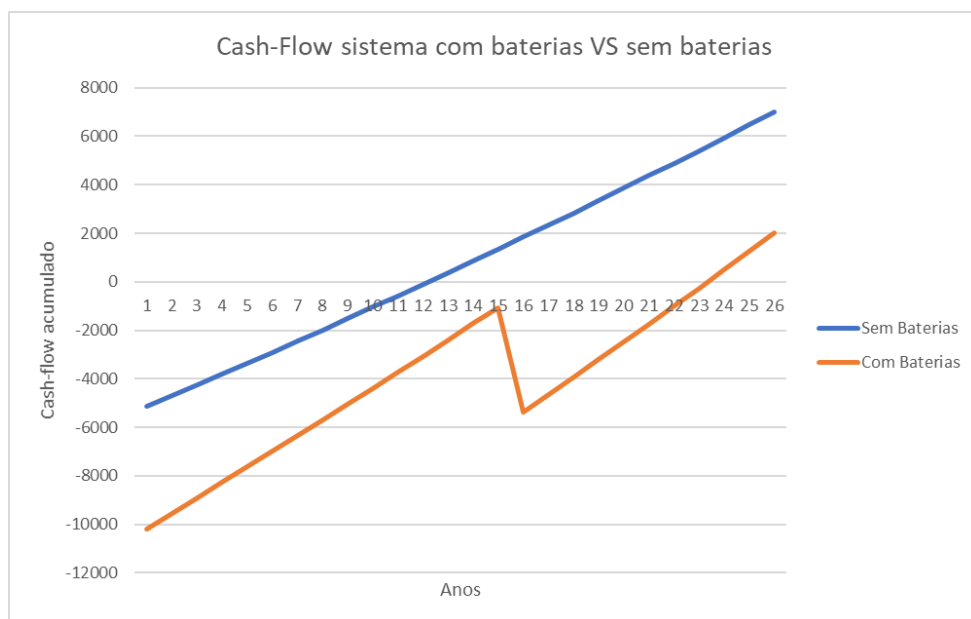


Figura 40- Cash-Flow acumulado sistema com e sem armazenamento, bateria de lítio

Na Tabela 24 estão os valores económicos do caso de estudo com e sem armazenamento.

Tabela 24 - Dados económicos caso de estudo baterias de Chumbo-ácido

	Investimento (€)	Payback		TIR	VAL (€)	LCOS (€/kWh)
		Anos	Meses			
Sistema com baterias	10180	21	1	1%	1174,59	0,1694
Sistema sem baterias	5135	11	0	3 %	6162,72	0,0811

4.3. Verificação de resultados

Os resultados do programa *SPSA* necessitam de ser comparados com outro programa com capacidades de cálculo idênticas de modo a testar a veracidade dos valores obtidos. Assim sendo foi usado o programa *SAM* devido à sua fácil utilização e de obtenção de resultados.

O perfil de consumo da casa de estudo foi inserido na plataforma *SAM*, sendo que esta apresenta dois métodos, nomeadamente o horário ou o mensal. Neste caso o perfil de consumo usado foi mensal.

O caso de estudo que será usado como referência do programa *SPSA* será o que incorpora bateria de lítio. Este foi escolhido em detrimento das baterias de chumbo, pois a tecnologia de lítio apresenta maior potencial, bem como os valores de esperança de vida útil das baterias necessitam de ser testados.

Os dados a serem comparados serão de carácter técnico e económico.

Tabela 25- Comparação de resultados entre os programas *SPSA* e *SAM*

Programa	<i>SPSA</i>	<i>SAM</i>
<i>Dados técnicos</i>		
Energia gerada pelo sistema FV	4952,32 kWh	4377,4 kWh
Energia armazenada	1145,16 kWh	506,41 kWh
Energia gerada em excesso	937,5 kWh	2114,12 kWh
Vida útil baterias	15,2 anos	17 anos
<i>Dados económicos</i>		
Payback	15,2 anos	15,2 anos
VAL	6012 €	3967 €
LCOS	0,12 €/kWh	0,198 €/kWh

A comparação demonstra que os valores obtidos pelos programas apresentam um erro considerável. Sendo que, apesar das discrepâncias os dados estão próximos, acabando o *payback* por ser idêntico. A variação encontrada pode advir das aproximações e estimativas que cada programa faz, pois existem certos valores como o consumo horário e a divisão de consumos que são difíceis de estimar.

O parâmetro que melhor demonstra a variação que pode existir na análise da mesma condição é a produção fotovoltaica. Ambos os programas analisam o mesmo sistema fotovoltaico, com características técnicas e geográficas idênticas, no entanto os resultados obtidos apresentam uma diferença de 11%. Com o acumular de pequenos desvios em cada etapa dos cálculos, os resultados finais irão obter resultados diferentes.

A validade de cada programa depende do quão bem o levantamento tiver sido feito e os detalhes técnicos e de operação que sejam possíveis de integrar. O software *SAM* apresenta mais dados possíveis de inserir que podem diminuir o erro, no entanto este não tem um método apropriado para inserir consumos. O software *SPSA* embora não dispondo de tantos recursos, oferece ao utilizador uma ferramenta mais adequada para a estimativa de consumos e que pode no final do estudo, ser a diferença entre a viabilidade ou não de um projeto.

4.4. Análise de sensibilidade

Nas secções anteriores foram analisadas as influências que diferentes tecnologias de armazenamento têm num sistema híbrido. Nesta secção irão ser variadas a potência fotovoltaica instalada, bem como o perfil de consumo da habitação. Esta abordagem serve para estudar o efeito que cada um dos parâmetros anteriores tem, sendo assim possível tirar conclusões relativas ao comportamento de diferentes instalações.

O sistema selecionado dos casos de estudo anterior, foi o que é constituído por baterias de chumbo-ácido, pois este era o que demonstrava ser o investimento mais viável com os preços praticados durante a realização da tese.

O método de comparação consistiu na análise de simulações criadas no programa *SPSA*, onde cada um dos parâmetros enumerados foi alterado individualmente, com valores superiores e inferiores em relação ao caso de estudo.

4.4.1 Variação de produção fotovoltaica

O primeiro parâmetro a ser alterado foi a potência fotovoltaica, onde foram criados casos onde a potência de pico variou 25%.

Para o mesmo local dos casos de estudo, foi simulada a produção fotovoltaica para um caso de 3,75 kW (+25%) e um caso de 2,25 kW (-25%) este número foi aproximado em defeito, de modo a ser um múltiplo da potência individual de cada painel (250W).

Os dados obtidos para cada uma das simulações estão presentes Tabela 26 .

Tabela 26 - Resultados técnicos diferentes sistemas fotovoltaicos.

<i>Potência fotovoltaica</i>	$3 \times 1,25 = 3,75 \text{ kW}$	3 kW	$3 \div 1,25 = 2,4 \approx 2,25 \text{ kW}$
<i>Produção anual, kWh</i>	6192	4952,3	3715,2
<i>Energia anual armazenada, kWh</i>	1579,4	1280,3	851,6
<i>Diminuição de consumo</i>	78%	71%	59%
<i>Dias com bateria carregada</i>	67%	47%	25%
<i>Dias com bateria descarregada</i>	76%	79%	87%
<i>DOD médio das baterias</i>	36%	29%	19%
<i>Vida útil das baterias (anos)</i>	6,5	8,6	14,5

Os dados económicos relativos a cada um dos casos estão descritos na Tabela 27.

Tabela 27 - Resultados económicos de diferentes sistemas fotovoltaicos

<i>Potência fotovoltaica</i>	$3,75 \text{ kW}$	3 kW	$2,25 \text{ kW}$
<i>Payback</i>	17 anos e 3 meses	14 anos e 9 meses	12 anos e 11 meses
<i>TIR</i>	3%	4%	6%
<i>VAL</i>	2 470 €	3 578 €	5 552 €
<i>LCOS (€/kWh)</i>	0,161	0,146	0,110

Além dos indicadores apresentados anteriormente também foi comparado o *cash-acumulado* das três alternativas na Figura 41. Esta análise fornece uma demonstração visual e global do impacto que a variação do sistema fotovoltaico tem num sistema híbrido.

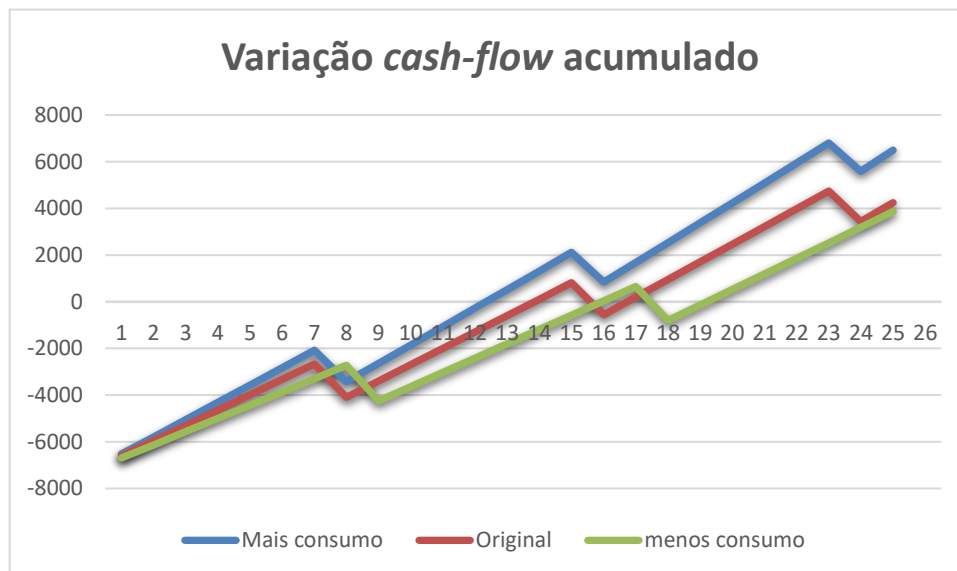


Figura 41 - Gráfico *cash-flow* acumulado dos três casos analisados

Com a análise dos resultados anteriores é possível de observar que com potências fotovoltaicas inferiores, o esforço que o sistema estará sujeito será consideravelmente menor, levando assim a que os indicadores económicos sejam mais favoráveis. No entanto este resultado é obtido diminuindo a percentagem de independência da rede, passando dos 71 % com 3 kW de potência fotovoltaica, para 59% com 2,25 kW.

Um dos parâmetros que origina o aumento da viabilidade do sistema híbrido com menor potência fotovoltaica, consiste na diminuição da *DOD* média. Esta diminuição está relacionada com o facto de existir menos energia excedente de dia, o que irá originar que as baterias tenham menos carga e assim alcancem a sua *DOD* máxima mais depressa. Isto irá levar a que nos meses de menor radiação solar, as baterias passem vários dias descarregadas ou perto desse estado.

Um resultado a retirar consiste na diminuição da rentabilidade dos sistemas híbridos conforme maior for a independência pretendida da rede.

4.4.2 Variação de consumo

O perfil de consumo foi variado em 25% em excesso e em defeito em relação ao caso de estudo. Todos os outros parâmetros tais como a potência fotovoltaica e sistema de armazenamento mantiveram-se constantes. Na Tabela 28 estão os resultados obtidos nas simulações para os diferentes consumos.

Tabela 28 - Resultados técnicos diferentes perfis de consumo

<i>Consumo</i>	<i>Consumo × 1,25</i>	<i>Consumo</i>	<i>Consumo ÷ 1,25</i>
<i>Produção anual, kWh</i>	4952,32	4952,32	4952,32
<i>Energia anual armazenada, kWh</i>	1188,7	1280,3	1221,3
<i>Diminuição de consumo</i>	63%	71%	76%
<i>Dias com bateria carregada</i>	32%	47%	59%
<i>Dias com bateria descarregada</i>	100%	79%	55%
<i>DOD médio das baterias</i>	27%	29%	28%
<i>Vida útil das baterias (anos)</i>	8,9	8,6	9,9

Na Tabela 29 estão presentes os dados que permitem analisar o impacto que diferentes consumos têm num dado sistema híbrido.

Tabela 29 - Resultados económicos de diferentes perfis de consumo

<i>Consumo</i>	<i>Mais consumo</i>	<i>Original</i>	<i>Menos consumo</i>
<i>Payback</i>	12 anos e 6 meses	14 anos e 9 meses	17 anos
<i>TIR</i>	6%	4%	4%
<i>VAL</i>	5 686 €	3 578 €	3 150 €
<i>LCOS (€/kWh)</i>	0,129	0,146	0,143

Na Figura 42 está presente o gráfico que demonstra os diferentes *cash-flows* acumulados de cada uma das simulações.

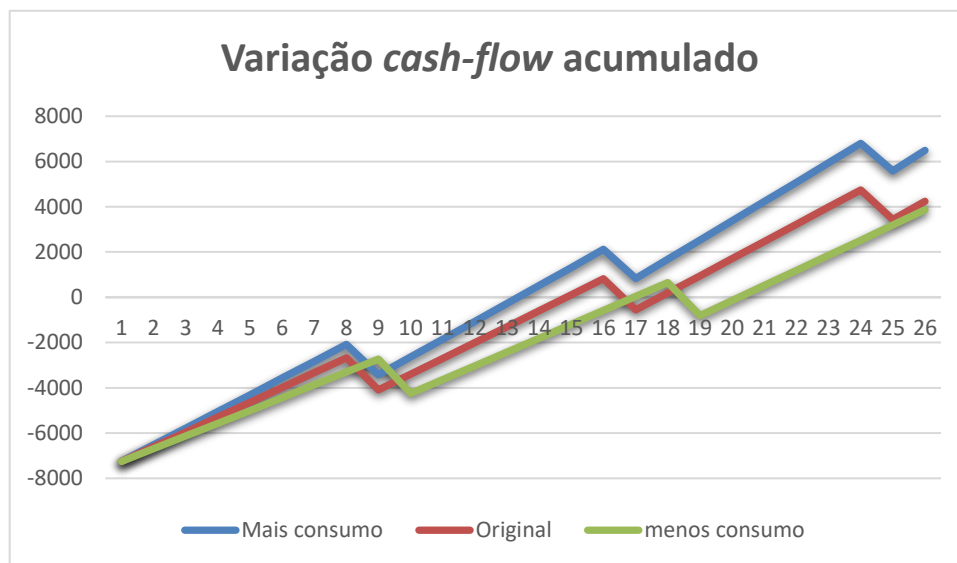


Figura 42 - Cash-Flow acumulado de diferentes perfis de consumo

Com a análise feita neste capítulo é possível observar que com a diminuição do consumo, a viabilidade do sistema diminui, mas, no entanto, a sua durabilidade aumenta. Além do mais constatou-se que o aumento do consumo tem um efeito mais significativo, pois enquanto a diminuição do consumo só aumentou em 5% a independência da rede, o aumento do consumo levou a uma diminuição da independência de 8%.

No entanto comparando a influência que o consumo tem quando comparado com a potência fotovoltaica, pode-se tirar a conclusão que a dimensão do gerador fotovoltaico tem uma influência maior na rentabilidade dos sistemas. Sendo que de acordo com os resultados obtidos a melhor alternativa para os sistemas híbridos consiste em recorrer a sistemas fotovoltaicos que não sejam sobredimensionados e perfis de consumo que não sejam reduzidos face à geração renovável estimada.

4.4.3 Variação do preço de armazenamento

O preço da energia armazenada depende do preço de aquisição das baterias e da vida útil que estas terão. Como foi referido, as baterias de lítio apresentam uma maior vida útil e versatilidade, no entanto o preço destas continua a ser bastante superior quando comparadas com as de chumbo-ácido. Assim sendo recorreu-se ao programa *SPSA* para determinar qual a diminuição de custo necessária para que ambas as tecnologias possam competir, e mais concretamente que as baterias de lítio se tornem mais viáveis.

O método usado para a obtenção de resultados consistiu na análise dos casos de estudo descritos para a casa modelo, e fazendo diminuir o preço das baterias de lítio até que os valores económicos dos sistemas fossem idênticos. Esta análise é feita levando em consideração que as baterias têm capacidades e vidas úteis diferentes.

Os resultados da Tabela 30, demonstram a diminuição que as baterias de lítio necessitam de ter de modo a poderem competir com as baterias de chumbo-ácido.

Tabela 30 - Variação de custo baterias de lítio VS bateria de chumbo

<i>Tipo de bateria</i>	<i>Preço atual</i>	<i>Preço ótimo</i>
<i>Lítio</i>	5045 €	3060 €
<i>Chumbo-ácido</i>	2120 €	

Com a análise feita é possível observar que com uma diminuição de 39% do preço atual das baterias de lítio, estas se iriam tornar competitivas em relação às baterias de chumbo-ácido, sendo que este valor ainda não significa que estas sejam economicamente rentáveis em todos os casos.

De modo a determinar qual seria a diminuição de preço necessário para que as baterias de lítio se tornem economicamente rentáveis, foi repetido o processo antes descrito. No entanto o valor das baterias será comparado com os sistemas fotovoltaicos sem baterias, que como se pode constatar nesta dissertação são economicamente viáveis. Esta análise foi realizada na Tabela 31.

Tabela 31- Variação custo bateria de lítio vs sistema fotovoltaico convencional

<i>Tipo de bateria</i>	<i>Preço atual</i>	<i>Preço ótimo</i>
<i>Lítio</i>	5045 €	1600€

Analisando os valores obtidos constata-se que é necessária uma grande redução do valor das baterias, cerca de 68 %. A redução tão dramática de custos será difícil de acontecer, sendo que esta análise demonstra a necessidade de melhorar as tecnologias de armazenamento para aumentar a sua durabilidade e principalmente levar à diminuição do seu custo.

5. Conclusões

A crescente importância das fontes de energia renovável no mix energético está a revolucionar o mercado energético. Estas permitem gerar energia não poluente e renovável, permitindo desse modo evitar a utilização de recursos não renováveis e contribuindo para um desenvolvimento mais sustentável, e liberalizar o mercado dando a oportunidade de qualquer consumidor se tornar produtor. Apesar da disponibilidade das várias fontes de energia renovável ser fortemente dependente das características geográficas e climáticas, a diversidade das fontes permite na maior parte das regiões a produção abundante de energia renovável.

Apesar do interesse no desenvolvimento de fontes renováveis, alguns problemas significativos existem. Em particular, podem existir fortes flutuações temporais na produção, sobretudo devido à variabilidade climática, significando assim que existem alturas em que não é possível gerar energia. De modo a resolver este problema são usados os sistemas de armazenamento que permitem armazenar a energia produzida em excedente para ser utilizada quando não existe recurso, aumentando a utilização de energia renovável e a eficiência dos sistemas de produção.

Nesta dissertação foi estudada a incorporação de armazenamento em sistemas de geração renovável instalados em habitações, mais concretamente sistemas fotovoltaicos. O trabalho

incidiu na definição e implementação de modelos que permitiram o desenvolvimento do programa *SPSA*, cujo objetivo principal é estudar a viabilidade técnico financeira de sistemas híbridos.

O programa *SPSA* realiza os seus cálculos tomando em conta os inputs que o utilizador fornece relativos às características da habitação, ao perfil de consumo, do sistema fotovoltaico a instalar, do sistema de armazenamento, e por último do orçamento previsto para o projeto. Todos os dados anteriores são tratados de modo a serem estudadas as condições de viabilidade do sistema proposto pelo utilizador.

Atualmente existem duas tecnologias dominantes nos sistemas de armazenamento de energia: baterias de chumbo-ácido, e baterias de lítio; cada uma delas com as suas vantagens e desvantagens. De modo a entender como cada uma das tecnologias se comporta quando é submetida ao desgaste gerado num sistema híbrido, foram criados dois casos de estudo em que a diferença principal foi a tecnologia de bateria usada.

O caso de estudo foi desenvolvido tendo em consideração os consumos médios das famílias portuguesas, bem como as dimensões médias das habitações em Portugal. A habitação de estudo encontra-se localizada na zona do grande Porto, e o agregado familiar é constituído por três pessoas. Após a criação dos casos de estudo foi usado o programa comercial *SAM*, de modo a comparar os resultados obtidos pelo programa *SPSA*, e foi realizada uma análise de sensibilidade dos sistemas híbridos alterando os consumos e a potência fotovoltaica instalada.

Os resultados obtidos pelos estudos e comparações realizadas nesta dissertação, permitem deduzir várias conclusões, das quais se destacam as seguintes:

- O armazenamento é uma parte significativa dos custos iniciais dos sistemas híbridos. A vida útil e a possível substituição das baterias é um fator limitante, pois pode resultar na não viabilidade económica do investimento;
- As baterias de lítio demonstraram ter uma maior durabilidade quando comparadas com as de chumbo-ácido (cerca de 15 anos vs cerca de 8 anos e meio para os casos de estudo considerados), sendo que o preço das primeiras atualmente é cerca do dobro das baterias de chumbo-ácido;
- O preço das baterias de lítio deve baixar em pelo menos 39 % de modo a ser possível competir com as baterias de chumbo-ácido, e 68 % para que os sistemas com baterias

de lítio consigam competir com sistemas fotovoltaicos convencionais sem armazenamento;

- Dos casos de estudo analisados é possível concluir que segundo os preços atuais as baterias de chumbo-ácido apresentam maior rentabilidade do que as de lítio;
- Ambos os casos de estudo demonstram que existe uma produção considerável a ser gerada em excesso. Esta energia pode ser injetada na rede caso isso seja desejado ou noutras formas de armazenamento de energia, tais como por exemplo armazenamento térmico via AQS;
- Os sistemas híbridos irão ser uma peça fundamental nos edifícios classificados como *NZEB*, pois estes permitem, tal como é demonstrado pelos resultados dos casos de estudo, uma redução nos consumos de eletricidade na ordem dos 70%. Este valor pode ser ainda mais elevado com a maior racionalização e planeamento dos consumos;
- Um dado que se tornou relevante durante a criação do software *SPSA* foi a importância da introdução de sistemas de *machine learning* e de dispositivos de *IoT* (*Internet of Things*). Estes irão permitir o melhor controlo sobre as cargas, entender as necessidades dos agregados familiares, evitar ineficiências, e acima de tudo poder alterar ou adiar consumos face à disponibilidade de recurso renovável. No entanto, a sua implementação será efectuada em versões seguintes do software *SPSA*;
- A comparação de resultados com o programa *SAM* revelou uma discrepância. Esta diferença pode dever-se aos diferentes mapas de previsão de produção fotovoltaica, bem como ao uso de diferentes metodologias na previsão de vida útil das baterias, no software *SPSA*. A diferença entre os dois programas demonstra como a previsão de produção renovável e de consumos é um processo difícil e propenso a erros;
- Um dos aspetos que mais se destacou no desenvolvimento do programa *SPSA* foi a necessidade de perceber as diferenças entre as potencialidades alegadas das baterias face ao seu real desempenho.

5.1. Trabalhos futuros

Nunca nenhum programa pode ser considerado completo, existe sempre algo mais que pode ser feito de modo a melhorar e a aumentar o uso e flexibilidade da ferramenta. Assim sendo aqui estão algumas das possibilidades de desenvolvimentos futuros:

- Incorporação de mais tecnologias de armazenamento;
- Uso de mais tecnologias de geração renovável além da fotovoltaica;
- Interação do programa com software de cálculo de necessidades energéticas das habitações, de modo a obter perfis de consumo mais reais;
- Melhoramento do cálculo das necessidades satisfeitas com sistema solares térmicos.

Referências

- Abreu, E. I. (2 de 2 de 2017). *energiasrenovaveis*. Obtido de energiasrenovaveis: http://energiasrenovaveis.com/DetalheNoticias.asp?ID_conteudo=659&ID_area=23
- ADENE. (2012). *Guia da eficiência energética*.
- ADENE. (2017). *academiaadene*. Obtido em 10, de <https://www.academiaadene.pt/download/pt/g1-4-enunciado-e-resolucao.pdf>
- batteryuniversity. (30 de 11 de 2016). *batteryuniversity*. Obtido de batteryuniversity: http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion
- Bird, J. (1995). *Electrical Principles and Technology for Engineering* (1 ed.). Oxford: Newnes.
- Brandão, R. F. (2016). *Avaliação Económica de Investimentos*.
- Carneiro, J. (2009). *Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos*. Universidade do Minho. Obtido em 12 de 05 de 2017, de <https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi97MzrqKLXAhXsDMAKHdo9ClgQFggnMAA&url=https%3A%2F%2Frepositorium.sdum.uminho.pt%2Fbitstream%2F1822%2F16965%2F1%2FDIMENSIONAMENTO%2520DE%2520SISTEMAS%2520FOTOVOLTAICOS>
- circuito, C. (s.d.). *Curto circuito*. Obtido de Curto circuito: http://www.curto-circuito.com/index.php?main_page=index&cPath=225_226
- Correia, R. M. (Setembro de 2012). *Dimensionamento e gestão de sistemas de produção, armazenamento e consumo de electricidade com origem em fontes renováveis*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica-Energia e Automação Industrial. ESTGV, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal.
- Costa, P. A. (junho de 2004). *Atlas do Potencial Eólico para Portugal Continental*. Dissertação de Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra. FCUL, Portugal.
- Daviddarling. (28 de 3 de 2017). Obtido de http://www.daviddarling.info/images/small_wind_turbine.jpg
- Drouilhet, S. (9 de 1 de 1997). *A Battery Life Prediction Method for Hybrid Power Applications. A Battery Life Prediction Method for Hybrid Power Applications*.
- Duarte, P. N. (2012). *Colectores Solares Térmicos - Análise de desempenho térmico de soluções tecnológicas no mercado*. Porto: Dissertação de mestrdo, FEUP. Obtido de http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/16107/1/ulfc112498_tm_Silvana_Letras.pdf
- EDP. (2017a). A. Obtido em 11 de 4 de 2017, de <https://www.edp.pt/pt/particulares/bemvindoaedp/Pages/PotenciaRecomendada.aspx>
- EDP. (2017b). *EDP*. Obtido de <https://energia.edp.pt/particulares/apoio-cliente/opcao-horaria/>
- Electropaedia. (31 de 3 de 2017). *Electropaedia*. Obtido de mpoweruk: http://www.mpoweruk.com/cell_construction.htm#spiral

- ERSE. (2017). *EDPSU*. Obtido em 8 de 2017, de <http://www.edpsu.pt/pt/particulares/EDP%20Documents/Tarifas%20Transit%C3%B3rias%20Janeiro%202017.pdf>
- European Commission. (2016). Obtido em 18 de 04 de 2017, de <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32016H1318>
- European Commission. (16 de 03 de 2017). *European Commission*. Obtido em 30 de 6 de 2017, de [ec.europa.eu: https://ec.europa.eu/energy/en/topics/technology-and-innovation/energy-storage](https://ec.europa.eu/ec.europa.eu:https://ec.europa.eu/energy/en/topics/technology-and-innovation/energy-storage)
- ffsolar. (2017). *ffsolar*. Obtido em 08 de 2017, de https://www.ffsolar.com/pdf/UPAC_vs_UPP20170622_pt.pdf
- greenpoweruk. (2017). *greenpoweruk*. Obtido de [greenpoweruk: https://greenpoweruk.files.wordpress.com/2010/03/vertical-axis-wind-turbine-vawt.jpg](https://greenpoweruk.files.wordpress.com/2010/03/vertical-axis-wind-turbine-vawt.jpg)
- Hanley, S. (2017). Tesla Is Now An Energy Provider In Kauai, Hawaii, With Powerpack + Solar Installation. *Solar Love*.
- Haverkort, M. J. (2015). Battery aging and the Kinetic Battery Model. *Battery aging and the Kinetic Battery Model*, p. 3.
- INE. (2010). *INE*. Obtido em Agosto de 2017, de https://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=123674407&att_display=n&att_download=y
- INE. (2016). *Estatística de construção e habitação*. Obtido em Agosto de 2017, de https://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=298600357&att_display=n&att_download=y
- Letras, S. (2014). *Necessidades nominais de energia em edifícios de habitação: comparação entre as metodologias do RCCTE, REH e modelo 5RIC*". Dissertação de mestrado. Obtido de https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiAv-bCqKlXAhUMCcAKHcnXDLYQFggnMAA&url=http%3A%2F%2Frepositorio.ul.pt%2Fbitstream%2F10451%2F16107%2F1%2Ffulfc112498_tm_Silvana_Letras.pdf&usg=AOvVaw1mTJFT1qs-NmUfGi-IwX
- LUXOR. (2017). *Luxorsolar*. Obtido em 20 de 6 de 2017, de http://www.luxorsolar.com/root/img/pool/pdf/datenblatt/ecoline48poly/lx_db_ecoline_p60_250-265w_en.pdf
- Maehlum, M. A. (14 de Agosto de 2013). *energyinformative*. Obtido de [energyinformative: http://energyinformative.org/grid-tied-off-grid-and-hybrid-solar-systems/](http://energyinformative.org/grid-tied-off-grid-and-hybrid-solar-systems/)
- Marcelino, A. L. (2012/2013). *Estado de Arte – Sistemas de Armazenamento de Energia*. Porto: Feup.
- Mellit et al. (Julho de 2004). An adaptive artificial neural network model for sizing stand-alone photovoltaic systems: application for isolated sites in Algeria. *Renewable Energy*, 30(10), 1501-1524.
- Ministério da Economia e Emprego, M. d. (20 de 6 de 2011). *Renováveis na hora*. Obtido de <http://www.renovaveisnahaora.pt/web/srm/perguntas-frequentes>

- newhome. (s.d.). *newhome*. Obtido de newhome: <http://www.newhome.com.br/htmls/ekohome/Solar/T%C3%A9mico/ColetorPlano.htm>
- Nguyen, T. (2015). *Yaleappliance*. Obtido de <https://blog.yaleappliance.com/the-fastest-dishwasher-cycle-times>
- NREL. (janeiro de 1997). *NREL*. Obtido em 15 de 4 de 2017, de National Renewable Energy Laboratory: <https://www.nrel.gov/docs/legosti/fy97/21978.pdf>
- Panasonic. (s.d.). *orbtronic*. Obtido de <https://www.orbtronic.com/content/Datasheet-specs-Sanyo-Panasonic-NCR18650GA-3500mah.pdf>
- PORDATA. (2016). *PORDATA*. Obtido em Agosto de 2017, de <http://www.pordata.pt/Portugal/Dimens%C3%A3o+m%C3%A9dia+dos+agregados+dom%C3%A9sticos+privados+-511>
- Portal-energia. (19 de outubro de 2008). *Portal-energia*. Obtido de Portal-energia: <http://www.portal-energia.com/microgeracao-em-portugal/>
- PV-GIS. (4 de Setembro de 2012). *European Union*. Obtido de European Union: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eur.htm>
- RCCTE. (2006). *koelho2006*. Obtido de http://www.koelho2000.com/index_ficheiros/Downloads/Manuais/Manual_RCCTE_10_10_2006.pdf
- Seth B. Darling, F. Y. (2011). Assumptions and the levelized cost of energy for photovoltaics. *Energy & Environmental Science*, 4, 3133-3139.
- solaire-power. (2017). *solaire-power*. Obtido de solaire-power: <http://solaire-power.eu/en/products/storage-tank-technology/>
- solar, p. (s.d.). *portal solar*. Obtido de <http://www.portalsolar.com.br/Content/EditorImages/images/Painel-Solar-Fotovoltaico-Monocristalino.jpg>
- Spencer, S. (2005). *ageneal*. Obtido de http://www.ageneal.pt/DirEscrita/upload/docs/ADENE_SilvinoSpencer.pdf
- Steen, M. (2016). *Choice*. Obtido de <https://www.choice.com.au/home-and-living/laundry-and-cleaning/washing-machines/articles/cycle-times>
- Suspiro, A. (2016). *Observador*. Obtido em Agosto de 2017, de <http://observador.pt/2016/10/14/eletricidade-sobe-12-em-2016-e-o-aumento-mais-baixo-em-dez-anos/>
- Trojan. (2017). *Trojan*. Obtido de <http://www.trojanbattery.com/markets/renewable-energy-re/>
- University, B. (2015). *Battery University*. Obtido de http://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_prolong_lithium_based_batteries
- Vaughan, A. (10 de 2016). *TheGuardian*. Obtido de TheGuardian: <https://www.theguardian.com/environment/2016/oct/25/renewables-made-up-half-of-net-electricity-capacity-added-last-year>
- Veiga, A. S. (2015). *Metodologias para a classificação de edifícios de balanço de energia nulo (NZEB) aplicadas a um edifício residencial*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente, Universidade de Lisboa, Portugal.

Wilfred Ley et al. (2009). *Handbook of space technology* (1º edição ed.). Wiley.

Yunus A Çengel et Al. (2006). *Fluid Mechanics, Fundamentals and applications*. Em Y. A. Cimbala.

Anexo 1

Manual de utilização programa: SPSA – Solar-Plus-Storage-Analysis

Este documento tem como objetivo guiar o utilizador por cada um dos passos do programa SPSA, de modo a que este possa devolver resultados satisfatórios.

O programa SPSA foi desenvolvido com o intuito de tornar a análise de viabilidade da instalação de baterias em sistemas fotovoltaicos mais fácil. Este processo é bastante laborioso, o que torna este tipo de análise muito difícil de fazer para os vendedores e instaladores que acabam por montar este tipo de sistemas.

Importante: Antes de começar não esquecer de fazer uma cópia da pasta original que contém os documentos Word e Excel por preencher, deve ser criada uma nova pasta para cada estudo.

O programa está dividido em três etapas, em que cada uma vai utilizar parâmetros fáceis de obter por parte do utilizador, alguns dos valores serão médias ou aproximações, mas é de extrema importância que cada um destes valores seja o mais próximo do real possível.

Ao longo da página inicial existem dois tipos de células a preencher, existem as células que contêm uma lista de onde se pode escolher várias opções, e existem as células que devem ser preenchidas com valores ou informações obtidas pelo utilizador, todas as outras células devem permanecer inalteradas de modo a não provocar nenhum erro ao programa.

Este manual usa várias imagens das tabelas que são necessárias preencher no programa, no entanto os valores que são aqui apresentados são apenas exemplos, devendo ser alterados para cada caso de estudo.

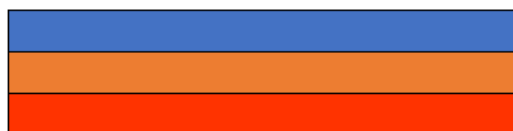
A legenda da função de cada uma das células pode ser observada em baixo:

Legenda de cores:

Células com lista para preencher

Células para preencher manualmente

Células onde não é necessário alterar



O primeiro passo do programa consiste em preencher os dados introdutórios relativamente ao fornecedor (quem realiza este estudo), o requerente (o destinatário do estudo) e por último a morada do requerente.

Descrição dos passos a seguir:

A

A.1 Área útil da habitação – Preencher com a área útil da habitação.

Nº de pessoas – Número de pessoas que habitam o edifício de forma permanente.

Localização – Concelho onde se localiza a habitação.

Localização	PORTO	6,7
-------------	-------	-----

A.2 Na tabela a preencher, apenas se deve introduzir o valor da Tarifa em vigor no contrato de fornecimento de energia da habitação, não preenchendo os outros valores da outra tarifa.

- Tarifa Simples
- Tarifa Bi-horária

Em caso de a tarifa ser bi-horária, preencher a divisão de consumos à noite. Esta divisão é importante, pois o preço da eletricidade varia e isso irá influenciar os custos da eletricidade comprada à rede, bem como o retorno da gerada pelo sistema híbrido. Na divisão de consumos apenas deve ser preenchida a percentagem de consumos que ocorrem entre as 20 h e as 22 h.

		Tarifa eletricidade	Preço (€/kWh)
A.2	Tarifa Simples	Preço Tarifa Simples	0,1659
	Tarifa bi-horária	Preço fora de vazio	
		Preço Vazio	
		Apenas preencher em caso de bi-horário	
		Divisão Consumos noturnos	%
		das 20h às 22h	0
	das 22h às 8h	100	

A.3 Neste ponto é necessário fazer um levantamento de consumos e utilização dos vários equipamentos da casa, no quadro é necessário rever os valores médios que lá estão inseridos, pois os equipamentos e utilização variam de caso para caso. Não esquecer que é inserida a potência total de utilização, mas nem sempre os equipamentos trabalham à potência máxima.

Tendo como exemplo a utilização da iluminação se apenas metade da iluminação estiver ligada uma hora, considerasse que toda a iluminação esteve ligada meia-hora, esta lógica está associada com todos os outros equipamentos.

Importante: ter em atenção que caso o Fogão não seja elétrico, os valores deste devem ser definidos como zero.

Determinação de Consumos		Dias da semana		Fim-de-semana		
		Número de horas de utilização		Número de horas de utilização		
A.3	Equipamentos	Potência (Watts)	Dia	Noite	Dia	Noite
	Iluminação	500 W	0,1	0,6	0,3	0,7
	Ferro de engomar	1000 W	0,5	0	0,6	0
	Secador	500 W	0,2	0,1	0,25	0,15
	Televisão	200 W	2	3	2	2,5
	Arca congeladora	200 W	0	0	0	0
	Frigorífico	200 W	3	3,5	3	3
	Fogão elétrico	5000 W	0	0	0	0
	Fritadeira elétrica	1500 W	0,1	0,2	0,1	0,1
	Computador	250 W	0,5	1	2	1
	Microondas	1000 W	0,05	0,05	0,05	0,05
Sub-total		1,98 kWh	2,25 kWh	2,58 kWh	1,93 kWh	

Na tabela anterior todos os valores podem ser alterados, desde o equipamento, a sua potência, bem como a sua utilização.

A.4 Este ponto está dividido em duas tabelas, na primeira tabela não é aconselhável fazer alterações, a não ser que seja necessário.

Na segunda tabela estão dispostos os vários equipamentos e a sua utilização ao longo de uma semana habitual. Estes equipamentos devido ao seu elevado consumo, necessitam de uma atenção especial, mas apenas devem ser incluídos nesta tabela se e só se o equipamento for elétrico. Caso este tenha outra fonte de energia este deve ser ignorado nesta tabela.

Máquinas de grande consumo	Potência	Duração ciclo (h)
Máquina de lavar roupa	2000 W	1,1
Máquina de lavar louça	3000 W	2,0
Máquina de secar	4000 W	0,5
Forno elétrico	5000 W	2,0
Outro	0 W	0,0

A.5	Tipo de sistema		Sistema solar térmico
	AQS	Esquentador	Não
	Aquecimento	Aquecimento Elétrico	percentagem da casa climatizada (%)
			75%

A.5 Nesta etapa basta preencher todas as células com as listas. Caso se escolha a opção outro, esta define como uso de qualquer fonte de energia menos a elétrica.

B

B.1 Normalmente o número de painéis a incorporar num dado caso está limitado, por fatores técnicos e/ou financeiros, sendo que deve incluir aqui o número máximo de painéis que serão possíveis de instalar. Todos os parâmetros seguintes são os necessários introduzir no programa de previsão de produção do sistema fotovoltaico.

B.1	Número de painéis	17	uni Watts
	Potência de cada painel	240	
	Tecnologia a usar	Monocristalinos	
	Potência total FV	4080	
	Inclinação do sistema a instalar	35°	
	Azimute	0	

B.2 A tabela presente neste ponto irá necessitar da produção média diária que cada sistema pode gerar, ao longo de cada mês.

Existem vários programas que devolvem esta informação, o que é mais aconselhável usar devido ao seu uso gratuito e da fonte ser a União Europeia é o programa PVGIS de uso em browser.

(<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>)

Produção Estimada

Mês	Energia gerada diariamente (kWh)
Janeiro	11,7
Fevereiro	16,2
Março	19,6
Abril	20
Maio	21,3
Junho	21,7
Julho	22,2
Agosto	22,1
Setembro	21
Outubro	16,7
Novembro	13
Dezembro	10,9

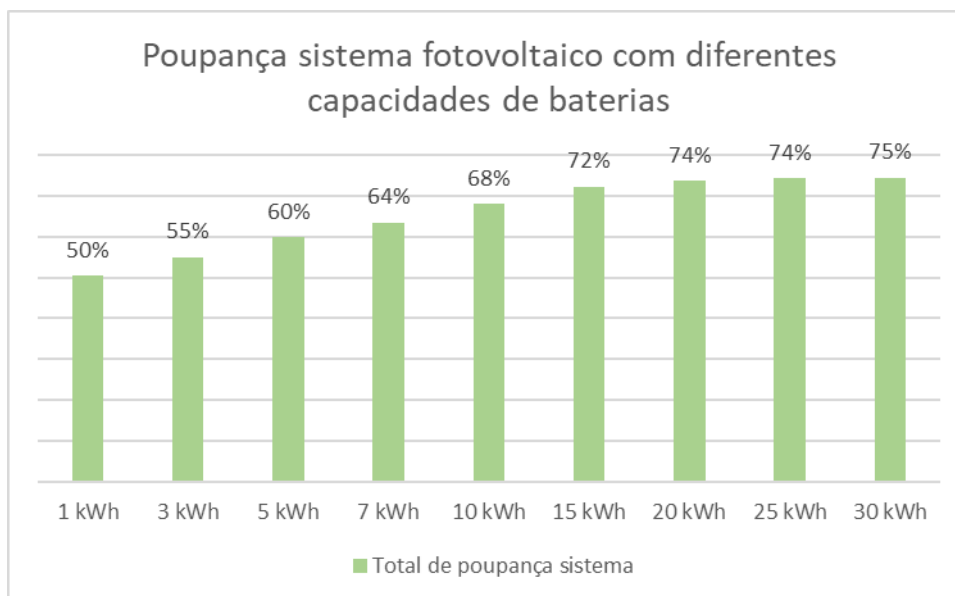
Fixed system: inclination=35°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	11.70	364	3.38	105
Feb	16.20	452	4.69	131
Mar	19.60	606	5.84	181
Apr	20.00	601	6.11	183
May	21.30	661	6.54	203
Jun	21.70	651	6.73	202
Jul	22.20	689	6.94	215
Aug	22.10	686	6.93	215
Sep	21.00	629	6.49	195
Oct	16.70	519	5.06	157
Nov	13.00	389	3.79	114
Dec	10.90	338	3.13	97.2
Yearly average	18.0	549	5.47	166
Total for year		6580		2000

Os valores têm de ser incorporados manualmente, como se pode observar na imagem em cima, no entanto é um processo fácil de completar.

NOTA: O programa PVGIS, define uma perda de 14% esse valor pode ser reduzido para 5% ou 6%, pois o software já tem incorporado em si perdas por reflexão, pelos cabos e inversor.

B.3 O programa irá analisar o consumo anual da casa e a produção fotovoltaica, permitindo fornecer ao utilizador um gráfico que demonstra a poupança global do sistema, com diferentes capacidades das baterias.

O gráfico demonstrado em baixo ajuda na tomada de decisão do utilizador, para qual deve ser a melhor capacidade de armazenamento a usar.



Os dados necessários inserir irão definir o sistema de baterias a usar, existem muitas tecnologias a usar, contudo para este tipo de aplicações é aconselhável usar ou baterias de chumbo de qualidade Premium ou superior, mas preferencialmente deve-se optar pelas baterias de lítio devido ao seu melhor desempenho e vida útil. Um dos parâmetros difíceis de obter em caso da escolha de baterias de lítio é a sua tecnologia, caso não existam indicações de que é de LiFePo4 (Li-Po) ou NMC optar pela tecnologia LiFePo4, pois os dados experimentais desta bateria são os que mais se aproximam da generalidade das células de lítio.

No parâmetro relativo à capacidade do sistema é apenas necessária introduzir a capacidade em Ah ou em kWh, mas nunca ambas. O programa irá calcular automaticamente a que estiver em falta.

A profundidade de descarga (DOD) é um dos, se não o parâmetro mais importante para a estimativa de vida útil. Será necessário definir este valor tendo em conta que um valor muito baixo irá reduzir a vida útil, e um valor demasiado conservador não irá trazer um retorno favorável. Pode-se alterar este valor no final dos cálculos para testar qual o valor que melhor se adequa a cada caso em particular.

A última célula deste ponto é uma lista de onde se pode escolher o que se pretende fazer quando as baterias chegam ao final da sua vida útil. A escolha irá afetar o retorno sendo que se as baterias forem substituídas, o valor da substituição irá ser tido em conta para o retorno económico do sistema.

	Tecnologia de baterias a usar	Lítio	LiFePo4
	Tensão do sistema a usar	48 V	
		Ah	kWh
	Capacidade do sistema em Ah ou kWh		10
B.3	Descarga máxima das baterias (DOD)	50 %	
	Substituição baterias em fina de vida útil	Sim	

B.4 O último ponto do sistema a incorporar consiste na escolha se será, ou não feita a injeção da energia gerada em excesso na rede, através de duas células com as opções sim e não. Neste ponto aparece a opção com ou sem baterias, pois o programa irá comparar a vertente técnico-económica entre ambos os sistemas.

Não esquecer de introduzir o preço da energia vendida à rede e do preço do contador específico para a venda de energia à rede. O preço da energia vendida à rede é necessário atualizar para os valores na altura da instalação.

C

C.1 Na tabela presente neste ponto é apenas necessário introduzir o número de equipamentos necessários, e o seu preço. O preço terá de incluir fornecimento e montagem.

O cálculo do Subtotal é feito automaticamente, apenas sendo necessário alterar os valores das unidades e do preço unitário.

Orçamento				
	Equipamento	Unidades	Preço unidade	Subtotal
	Painéis Fotovoltaicos 250 W	17	220	3740
	Inversor Híbrido 3 kW	1	1000	1000
	Baterias	4	300	3500
C.1	Cablagem	1	300	300
	Estrutura	1	600	600
	Monitorizador de produção	1	100	100
	Total			9240 €
			Montante de IVA	2125 €

Podem ser adicionadas ou retiradas células, desde que a linha relativa às baterias se mantenha inalterada.

Nota: O número de painéis fotovoltaicos não é necessário mudar pois ele atualiza automaticamente. Quanto ao valor do subtotal das baterias, NUNCA altere a sua posição.

C.2 Este é o último ponto do programa que é necessário alterar, neste é necessário escolher, se é necessário incluir o IVA ou não, e é de grande interesse ver qual a taxa de aumento do preço da eletricidade. Esta taxa convêm ser revista de ano a ano pois esta muda, contudo, não esquecer que este valor irá ser mantido constante ao longo dos 25 anos de estudo.

Por último, o ponto custo de capital é um indicador alternativo, que deve ter sido em conta caso o dinheiro que irá ser usado seja proveniente de empréstimos ou tenha interesses do próprio ou terceiros.

Visualização de resultados

Os resultados obtidos com este programa podem ser visualizados no separador, “Resultados” da folha de Excel, lá irão estar todos os dados que são importantes para perceber a viabilidade ou não do sistema que está a ser proposto.

Nesta folha estarão presentes valores que irão permitir ao utilizador perceber se o sistema corresponde às necessidades técnicas, nomeadamente:

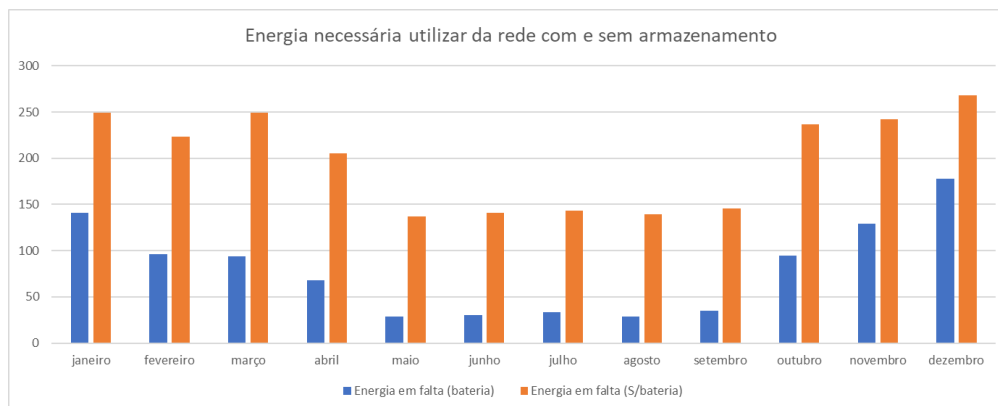
- Consumo Estimado Anual;
- Produção Renovável Anual;
- Utilização Anual da Produção Renovável;
- Total Anual de Energia Armazenada;
- Energia Anual Gerada em Excesso;
- Energia Anual Necessária da Rede;
- Percentagem de Diminuição de Consumo.

Além dos dados anteriores o programa irá avaliar se o sistema fotovoltaico e o sistema de armazenamento estão bem dimensionados, num parâmetro denominado observações, que pode ser visto na figura em baixo.

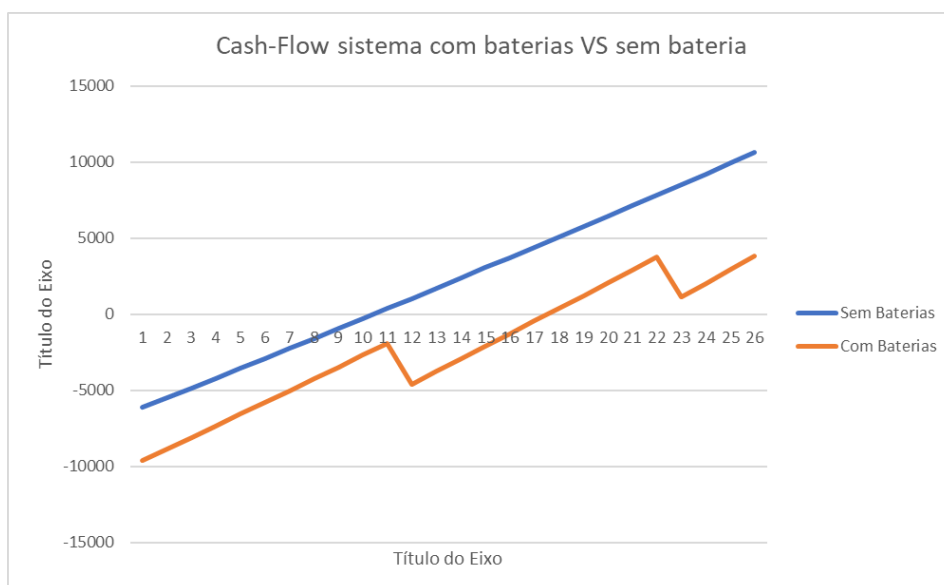
Observações	
Sistema PV	Bem dimensionado!
Baterias	necessita de mais armazenamento

O programa também irá comparar como o sistema híbrido se compararia com um sistema fotovoltaico idêntico, mas sem armazenamento.

O primeiro indicador consiste nas diferentes necessidades de energia proveniente da rede durante o ano para ambos os sistemas, sendo que este parâmetro é possível de observar no gráfico gerado pelo programa, tal como demonstrado em baixo.



Além dos parâmetros técnicos, os parâmetros económicos também são tidos em conta e comparados com o sistema sem armazenamento. O primeiro aspeto económico consiste nos diferentes *cash-flows* acumulados de ambos os sistemas, este indicador compara os diferentes fluxos de dinheiro ao longo da vida útil do projeto, tal como o gráfico seguinte demonstra.



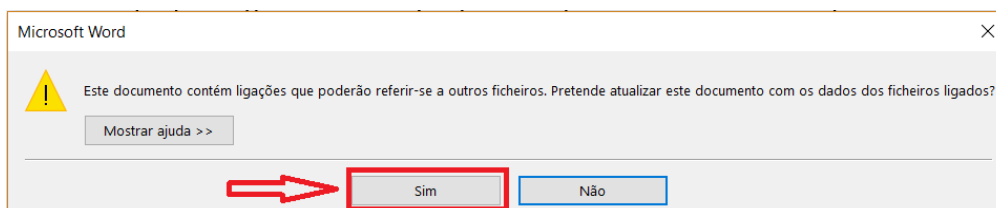
Por último de modo a entender se o investimento é rentável ou não, são devolvidos indicadores económicos tais como o *Payback*, a TIR e o VAL. Estes valores também são comparados com o sistema sem armazenamento de modo a perceber se existe vantagem económica em introduzir o armazenamento.

Relatório automático Word

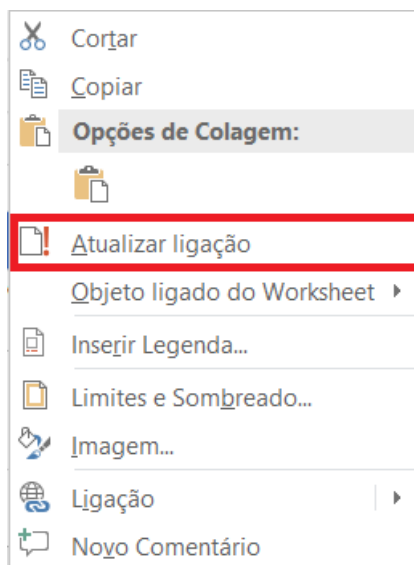
Este programa além dos dados que podem ser observados no Excel, cria na mesma pasta onde se encontra o programa dois documentos Word denominados “Relatório SPSA Tarifa Simples” e “Relatório SPSA Tarifa bi-horária”, onde todas as informações importantes estão presentes e são atualizadas automaticamente quando se altera o Excel. Estes documentos apresentam todos os indicadores necessários para que o cliente consiga perceber se o investimento é vantajoso para si ou não.

O relatório automático necessita apenas de alguns passos para ser gerado:

1. Antes de abrir o documento automático desejado é necessário que o ficheiro Excel onde se realizou o estudo se encontre aberto no computador.
2. Atualizar as ligações entre o ficheiro Word e Excel quando se abre o documento Word. Clicar “Sim” como demonstra a figura em baixo.



3. Após o programa ter atualizado todas as ligações é necessário atualizar os gráficos. Para o fazer clicar com a tecla direita do rato em cima do gráfico e selecionar a opção “Atualizar Ligação”.



O documento a usar depende se a tarifa do cliente é simples ou bi-horária.

O documento Word pode ser alterado, no entanto é necessário ter cuidado para não apagar as hiperligações com o Excel, sendo que normalmente estas hiperligações podem ser facilmente detetadas sublinhando com o cursor o texto e vendo os locais mais sombreados quando selecionado, ou usando o atalho ALT+ F9.

Criadores:

Empresa responsável pelo desenvolvimento do programa:

- R.F.F, Instalações Elétricas, Unipessoal, Lda
- Contacto empresa: 963004206
- Contacto Criador: 919162777
- E-mail: r.f.f@sapo.pt
- Vila Real, Regia Douro Park, Andrães
- Programador: Eduardo André Silva
- E-mail: silva.edu.eduardo@gmail.com

Aviso

O programa SPSA, usa valores médios e estimativas para obter os seus resultados. Este método não é tão preciso como a medição de consumos e dados reais, contudo quando não é possível obter estes valores é a melhor aproximação possível.

Não esquecer que o programa estipula que os consumos serão mantidos constantes ao longo dos anos, e que não irão acontecer quaisquer problemas catastróficos quer de origem técnica ou ambiental.

Os criadores não assumem a responsabilidade pelo mau uso deste programa.

Anexo 2

Estudo de Performance de Sistema Fotovoltaico com Sistema de armazenamento de Energia

Programa SPSA – Solar-Plus-Storage-Analysis

Fornecedor: RFF instalações elétricas

Requerente: Eduardo Silva

Localização da habitação: Rua Dr. António Bernardino de Almeida

Características e ocupação do imóvel:

- Área útil da habitação: 100 m²
- Número de pessoas do agregado familiar: 3 pessoas
- Concelho da habitação: PORTO
- Inclinação da superfície dos painéis: 35°
- Orientação do sistema (Azimute): 0

O contrato de fornecimento de eletricidade na altura do estudo consistia no seguinte (S/IVA):

- Tarifa SimplesTarifa Simples
 - 0,165 €/kWh

O perfil de consumo estipulado para a habitação em estudo consiste no seguinte:

Consumo diário	Diurno	Noturno
Semanal	1,98 kWh	2,25 kWh
Fim-de-semana	2,58 kWh	1,93 kWh

Para aquecimentos das águas quentes sanitárias (AQS) é usado um Esquentador, sem o uso de um sistema solar térmico.

O conforto térmico da habitação é assegurado via Aquecimento Elétrico sendo que foi considerado que 75% da área útil da casa era climatizada.



Sistema proposto

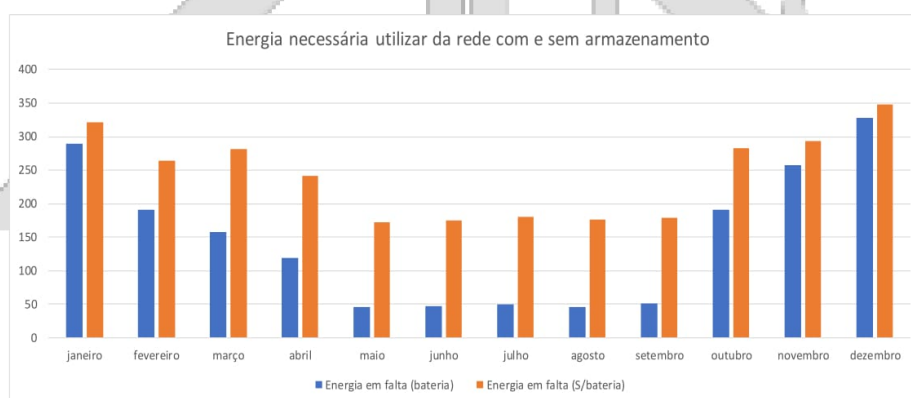
O sistema proposto será composto por 12 painéis fotovoltaicos (Monocristalinos), cada um com uma potência de 250 Watts, perfazendo assim uma instalação com 3000 W de potência de pico.

De modo a conseguir armazenar a energia excedente da produção fotovoltaica, para que esta possa vir a ser usada em períodos noturnos é proposto o seguinte sistema de baterias:

- Tipo de bateria
 - Tecnologia: Lítio
 - Tipologia: LiFePo4
- Tensão do sistema a usar: 48 V
- Capacidade de armazenamento: 10 kWh
- Profundidade de descarga máximo: 50 %

A configuração deste sistema define que toda a energia que seja gerada em excesso, ou seja quando todas as necessidades energéticas estejam satisfeitas e as baterias estejam carregadas, esta não será vendida à rede.

No gráfico seguinte é possível observar a poupança do sistema híbrido quando comparado com um sistema sem armazenamento ao longo do ano.



O sistema proposto conseguirá reduzir 68% do consumo anual da casa, comparando com os 53% de um sistema convencional.



Orçamento do sistema

O orçamento do sistema consiste na enumeração dos vários equipamentos necessários para a realização do projeto. Os valores incluem o preço de aquisição e montagem de cada um dos equipamentos.

Equipamento	Unidades	Preço unidade (€)	Sub-total (€)
Painéis Fotovoltaicos 250 W	12	260	3120
Inversor Híbrido 5 kW	1	1200	1200
Baterias	1	5045	5045
Cablagem	1	300	300
Estrutura	1	400	400
Monitorizador de produção	1	115	115
-	-	-	-
Total			10180 €
Montante de IVA			2341 €

O montante de IVA deve ser adicionado ao total para obter o valor total do projeto incluindo IVA.

Os valores descritos no orçamento têm uma validade de um mês após a data de emissão deste documento.

Dados Económicos

A avaliação económica é essencial em qualquer projeto, de modo a entender se a sua implementação trás retorno ao seu investidor.

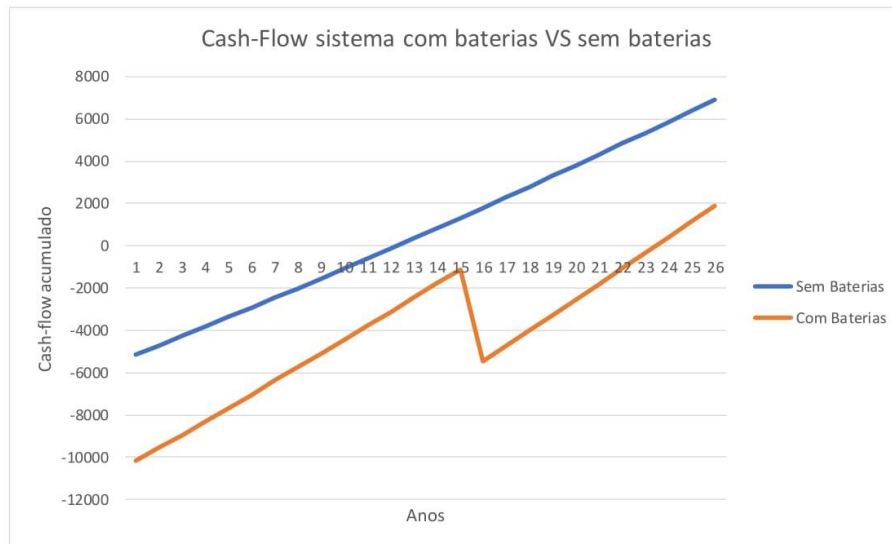
O programa teve em consideração uma taxa de aumento anual do preço da energia de 23%, uma taxa de degradação anual do sistema fotovoltaico de 0,36% e por fim que a vida útil das baterias será de 15 anos e 3 meses.

O sistema híbrido em questão apresenta os seguintes indicadores económicos:

- *Payback*: 21 anos e 1 meses;
- TIR : #NÚM!
- VAL : 1174,59 €
- Custo de energia gerada pelo sistema durante a vida útil: 0,1694 €/kWh
- Custo de capital: 0,5%
- Substituição das baterias no final de vida útil: Sim



Na tabela em baixo pode ser comparado o retorno esperado do sistema híbrido proposto neste documento, com um sistema idêntico, mas sem armazenamento.



Observações

Todos os dados em cima descritos preveem que os consumos da casa serão mantidos constantes ao longo da vida útil do projeto, que será feita a devida manutenção do sistema, e que o tipo de contrato de fornecimento de energia não se altere.