

**Estudo económico de sustentabilidade das ilhas do
Arquipélago dos Açores utilizando painéis fotovoltaicos,
energia eólica e sistema de armazenamento**

Inês Boga Melo

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientadores: Prof. João Paulo Neto Torres
Prof. Carlos Alberto Ferreira Fernandes

Júri

Presidente: Prof. Francisco André Corrêa Alegria
Orientador: Prof. João Paulo Neto Torres
Vogal: Prof. Maria João Marques Martins

Novembro 2019

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

Agradecimentos

Gostaria de fazer aqui alguns agradecimentos a quem me proporcionou tudo aquilo que necessitei ao longo dos anos, quer durante o curso, quer na elaboração desta dissertação de mestrado.

Aos meus pais pela amizade, incentivo e apoio que me deram ao longo de todo o meu percurso. Por estarem sempre lá para mim e por permitirem que este projeto fosse possível. Gostaria também de agradecer aos meus avós, tios e irmãs por toda a compreensão e apoio ao longo de todos estes anos.

Aos meus orientadores da dissertação, Prof. João Paulo Neto Torres e Prof. Carlos Ferreira Fernandes, por toda a disponibilidade e apoio nas dúvidas que surgiram na realização desta dissertação.

À EDA (Eletricidade dos Açores) e à Gracióllica, pelos dados disponibilizados para a realização deste estudo.

À Tuna Feminina do Instituto Superior Técnico que me desafiou durante o meu percurso académico fazendo-me abandonar a minha zona de conforto, acabando por contribuir para o meu desenvolvimento pessoal. Acompanhou-me e acolheu-me tanto nos piores como nos melhores momentos, revelando-se uma família.

Por último, mas não menos importante, a todos os meus amigos e colegas que me ajudaram a crescer como pessoa e sempre estiveram lá para mim durante os bons e os maus momentos da minha vida.

Abstract

Currently, the nine islands of the Autonomous Region of the Azores have fossil fuel-fired power stations as the main source of electric power. Each island has an independent electrical system classified as an isolated micro-system, given its size and location. The goal of this contribution will be to analyse the best set of technologies to have nine sustainable hybrid systems. These are made up of aerogenerator sources and photovoltaic panels associated with a storage system.

The implementation of renewable energy in isolated electrical systems is a challenge because of the intermittency of these sources that causes stability problems in the grid and also causes grid discrepancies as it is not possible to control the demand and supply of electricity.

Initially, to do the sizing of each island for it to become approximately 100% renewable, some factors are considered, such as the actual data production of each island, such as consumption growth prospects and supply reliability, according to forecasts of photovoltaic and wind energy supply.

Then, after some evaluation of different technologies, will be done an economic study on the implementation of the different solutions used. This study is a first approximation of the costs of implementation of the hybrid energy system to each of the islands of the archipelago.

The results of these studies will allow us to conclude on the applicability of these systems, quantifying the consequent socio-economic, environmental and fossil energy saving benefits.

Keywords

Energy Consumption; Isolated Micro Network; Hybrid Renewable Energy System; Electricity Cost; Fotovoltaic Conversion; Eolic Conversion

Resumo

Atualmente, as nove ilhas da Região Autónoma dos Açores têm como principal fonte energética centrais de combustíveis fósseis. Cada ilha possui um sistema elétrico independente classificado como um micro-sistema isolado, devido ao seu tamanho e localização. Assim, o objetivo desta dissertação será analisar o melhor conjunto de tecnologias de modo a ter nove sistemas híbridos sustentáveis. Estes são compostos por fontes aerogeradores e painéis fotovoltaicos associados a um sistema de armazenamento. A implementação de energias renováveis em sistemas elétricos isolados é um desafio, devido à intermitência destas fontes. Associado à intermitência destas fontes surgem problemas de estabilidade na rede elétrica que provocam discrepâncias na rede, pois não é possível controlar a procura e o fornecimento de eletricidade.

Inicialmente, de modo a fazer um dimensionamento para cada ilha tornando-a aproximadamente 100% renovável, serão considerados alguns fatores, como a produção real de dados de cada ilha, perspectivas de crescimento do consumo e a fiabilidade do fornecimento conforme as previsões de fornecimento energético (energia fotovoltaica e eólica). De seguida, após serem avaliadas algumas tecnologias será feito um estudo económico sobre a implementação das diferentes soluções apresentadas. Este estudo é uma primeira aproximação dos custos de implementação de um sistema energético híbrido em cada uma das ilhas do arquipélago. O resultado deste estudo permitirá concluir sobre a aplicabilidade destes sistemas, quantificando os consequentes benefícios socio-económicos, em termos ambientais e de poupança de recursos fósseis de energia.

Palavras Chave

Consumo Energético; Redes Isoladas; Sistema Híbrido de Energias Renováveis; Custo Electricidade; Conversão Fotovoltaica; Conversão Eólica

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Motivação e definição do problema	2
1.2	Objetivos e estrutura da tese	2
1.3	Enquadramento Geográfico e Clima	3
1.4	Sistema Elétrico da Região Autónoma dos Açores	5
1.5	Energias Renováveis	6
1.6	Caraterísticas de cada ilha	7
1.6.1	Santa Maria	7
1.6.2	São Miguel	8
1.6.3	Terceira	9
1.6.4	Graciosa	10
1.6.5	São Jorge	12
1.6.6	Pico	13
1.6.7	Faial	14
1.6.8	Flores	15
1.6.9	Corvo	16
2	Metodologia	17
2.1	Metodologia - São Miguel	18
2.1.1	Principais caraterísticas da rede	18
2.1.2	Dados para dimensionamento de turbinas eólicas	21
2.1.3	Dados para dimensionamento de painéis fotovoltaicos	21
2.2	Tecnologias para produção de energia fotovoltaica	22
2.2.1	Painéis Fotovoltaicos Policristalinos	22
2.2.2	Painéis Fotovoltaicos de Telureto de Cádmio (CdTe)	23
2.3	Tecnologias para produção de energia eólica	24
2.4	Armazenamento	25
2.4.1	Baterias de Níquel Hidreto Metálico (NiMH)	27

2.4.2	Baterias de lões de Lítio	27
2.4.3	Comparação destes tipos de baterias	28
3	Dimensionamento	29
3.1	Dimensionamento para cada ilha do arquipélago	30
3.1.1	Santa Maria	31
3.1.1.A	Produção Fotovoltaica	31
3.1.1.B	Produção Eólica	33
3.1.1.C	Produção Geral	33
3.1.1.D	Armazenamento	34
3.1.2	São Miguel	34
3.1.2.A	Produção Fotovoltaica	35
3.1.2.B	Produção Eólica	36
3.1.2.C	Produção Geral	37
3.1.2.D	Armazenamento	38
3.1.3	Terceira	38
3.1.3.A	Produção Fotovoltaica	38
3.1.3.B	Produção Eólica	40
3.1.3.C	Produção Geral	41
3.1.3.D	Armazenamento	42
3.1.4	Graciosa	42
3.1.4.A	Produção Fotovoltaica	42
3.1.4.B	Produção Geral	44
3.1.5	São Jorge	45
3.1.5.A	Produção Fotovoltaica	45
3.1.5.B	Produção Eólica	47
3.1.5.C	Produção Geral	47
3.1.5.D	Armazenamento	48
3.1.6	Pico	48
3.1.6.A	Produção Fotovoltaica	49
3.1.6.B	Produção Eólica	50
3.1.6.C	Produção Geral	51
3.1.6.D	Armazenamento	52
3.1.7	Faial	52
3.1.7.A	Produção Fotovoltaica	52
3.1.7.B	Produção Eólica	54

3.1.7.C	Produção Geral	54
3.1.7.D	Armazenamento	55
3.1.8	Flores	55
3.1.8.A	Produção Fotovoltaica	56
3.1.8.B	Produção Eólica	57
3.1.8.C	Produção Geral	58
3.1.8.D	Armazenamento	59
3.1.9	Corvo	59
3.1.9.A	Produção Fotovoltaica	59
3.1.9.B	Produção Eólica	61
3.1.9.C	Produção Geral	61
3.1.9.D	Armazenamento	62
4	Estudo Económico	63
4.1	Custos totais da eletricidade e tempo de retorno das soluções apresentadas	64
4.1.1	Santa Maria	66
4.1.2	São Miguel	67
4.1.3	Terceira	69
4.1.4	Graciosa	70
4.1.5	São Jorge	71
4.1.6	Pico	73
4.1.7	Faial	74
4.1.8	Flores	75
4.1.9	Corvo	76
4.2	Análise dos Resultados	78
4.3	Impactos Sócio-Económicos	79
5	Conclusão	80
A	Anexos	85
A.1	Caraterísticas principais da rede	85
A.1.1	Santa Maria	85
A.1.2	Terceira	86
A.1.3	Graciosa	87
A.1.4	São Jorge	87
A.1.5	Pico	88
A.1.6	Faial	88
A.1.7	Flores	89

A.1.8	Corvo	90
A.2	Dados para dimensionamento de painéis fotovoltaicos	90
A.2.1	Santa Maria	90
A.2.2	Terceira	91
A.2.3	Graciosa	91
A.2.4	São Jorge	92
A.2.5	Pico	92
A.2.6	Faial	92
A.2.7	Flores	93
A.2.8	Corvo	93
A.3	Localização do Sistema Híbrido	94
A.3.1	Santa Maria	94
A.3.2	Terceira	94
A.3.3	Graciosa	95
A.3.4	São Jorge	95
A.3.5	Pico	95
A.3.6	Faial	96
A.3.7	Flores	96
A.3.8	Corvo	97
A.4	Custos Parâmetros Técnicos [1]	97
A.5	Custo das Baterias de Iões de Lítio	98
A.6	Descrição das Baterias da LG Chem	98
A.7	Percentagem de consumo energético anual no arquipélago (dados relativos a 2018) [2]	99

Lista de Figuras

1.1	Enquadramento geográfico da Região Autónoma dos Açores	4
1.2	Produção Energética na região [3]	5
1.3	Painel de energia em tempo real - King Island [Dados 8/10/19]	6
1.4	Intensidade e direção do vento na ilha de Santa Maria [4]	7
1.5	Intensidade e direção do vento na ilha de São Miguel [4]	8
1.6	Intensidade e direção do vento na ilha Terceira [4]	9
1.7	Resumo e objetivos da atual instalação de energias renováveis na ilha Graciosa	11
1.8	Esquema unifilar do sistema de energia híbrida instalado na ilha Graciosa - dados obtidos pela Graciolica e Greensmith [5]	12
1.9	Intensidade e direção do vento na ilha de São Jorge [4]	13
1.10	Intensidade e direção do vento na ilha do Pico [4]	13
1.11	Intensidade e direção do vento na ilha do Faial [4]	14
1.12	Intensidade e direção do vento na ilha das Flores [4]	15
1.13	Intensidade e direção do vento na ilha do Corvo [4]	16
2.1	Esquema geral do sistema híbrido que se pretende instalar no arquipélago dos Açores [6]	18
2.2	Fluxograma geral de base para o dimensionamento do sistema híbrido	19
2.3	Localização do sistema híbrido na ilha de São Miguel [7]	19
2.4	Evolução da produção total de energia e respetiva quantidade de energias renováveis em São Miguel	20
2.5	Histograma da velocidade do vento durante um ano	21
2.6	Irradiância média mensal	21
2.7	Temperatura média mensal	21
2.8	Esquema unifilar pretendido para o parque fotovoltaico	22
2.9	Curva característica da potência elétrica em função da velocidade do vento [8]	24
2.10	Esquema Unifilar pretendido para a central de baterias [9]	25

3.1	Produção média mensal dos painéis fotovoltaicos policristalinos durante um ano em Santa Maria	31
3.2	Produção média mensal de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio durante um ano em Santa Maria	32
3.3	Produção de energia eólica no mês de janeiro na ilha de Santa Maria	33
3.4	Produção de energia eólica no mês de agosto na ilha de Santa Maria	33
3.5	Produção anual de energia eólica na ilha de Santa Maria	33
3.6	Estimativas de emissão total de energias renováveis e consumo mensal relativo ao ano de 2018 em Santa Maria	34
3.7	Produção média mensal dos painéis fotovoltaicos policristalinos durante um ano em São Miguel	35
3.8	Produção média mensal de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio durante um ano em São Miguel	36
3.9	Produção de energia eólica no mês de janeiro na ilha de São Miguel	36
3.10	Produção de energia eólica no mês de agosto na ilha de São Miguel	36
3.11	Produção anual de energia eólica na ilha de São Miguel	37
3.12	Estimativas de emissão total de energias renováveis e consumo mensal relativo ao ano de 2018 em São Miguel	37
3.13	Produção média mensal do painéis fotovoltaicos policristalinos durante um ano na Terceira	39
3.14	Produção média mensal de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio durante um ano na Terceira	40
3.15	Produção de energia eólica no mês de janeiro na ilha Terceira	40
3.16	Produção de energia eólica no mês de agosto na ilha Terceira	40
3.17	Produção anual de energia eólica na ilha Terceira	41
3.18	Estimativas de emissão total de energias renováveis e consumo mensal relativo ao ano de 2018 na Terceira	41
3.19	Produção média mensal dos painéis fotovoltaicos policristalinos durante um ano na Graciosa	43
3.20	Produção média mensal de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio durante um ano na Graciosa	44
3.21	Estimativas de emissão total de energias renováveis e consumo mensal na Graciosa	44
3.22	Produção média mensal dos painéis fotovoltaicos policristalinos durante um ano em São Jorge	45
3.23	Produção média mensal de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio durante um ano em São Jorge	46

3.24	Produção de energia eólica no mês de janeiro em São Jorge	47
3.25	Produção de energia eólica no mês de agosto em São Jorge	47
3.26	Produção anual de energia eólica em São Jorge	47
3.27	Estimativas de emissão total de energias renováveis e consumo mensal relativo ao ano de 2018 em São Jorge	48
3.28	Produção média mensal dos painéis fotovoltaicos policristalinos durante um ano no Pico	49
3.29	Produção média mensal de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio durante um ano no Pico	50
3.30	Produção de energia eólica no mês de janeiro no Pico	50
3.31	Produção de energia eólica no mês de agosto no Pico	50
3.32	Produção anual de energia eólica no Pico	51
3.33	Estimativas de emissão total de energias renováveis e consumo mensal relativo ao ano de 2018 no Pico	51
3.34	Produção média mensal dos painéis fotovoltaicos policristalinos durante um ano no Faial	52
3.35	Produção média mensal de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio durante um ano no Faial	53
3.36	Produção de energia eólica no mês de janeiro no Faial	54
3.37	Produção de energia eólica no mês de agosto no Faial	54
3.38	Produção anual de energia eólica no Faial	54
3.39	Estimativas de emissão total de energias renováveis e consumo mensal relativo ao ano de 2018 no Faial	55
3.40	Produção média mensal dos painéis fotovoltaicos policristalinos durante um ano nas Flores	56
3.41	Produção média mensal de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio durante um ano nas Flores	57
3.42	Produção de energia eólica no mês de janeiro nas Flores	57
3.43	Produção de energia eólica no mês de agosto nas Flores	57
3.44	Produção anual de energia eólica nas Flores	58
3.45	Estimativas de emissão total de energias renováveis e consumo mensal relativo ao ano de 2018 nas Flores	58
3.46	Produção média mensal dos painéis fotovoltaicos policristalinos durante um ano no Corvo	59
3.47	Produção média mensal de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio durante um ano em Santa Maria	60
3.48	Produção de energia eólica no mês de janeiro no Corvo	61
3.49	Produção de energia eólica no mês de agosto no Corvo	61
3.50	Produção anual de energia eólica no Corvo	61

3.51 Estimativas de emissão total de energias renováveis e consumo mensal relativo ao ano de 2018 no Corvo	62
A.1 Evolução da produção total de energia e respetiva quantidade de energias renováveis em Santa Maria [10] [11] [12] [13] [14] [15]	86
A.2 Evolução da produção total de energia e respetiva quantidade de energias renováveis na Terceira [10] [11] [12] [13] [14] [15]	86
A.3 Evolução da produção total de energia e respetiva quantidade de energias renováveis na Graciosa [10] [11] [12] [13] [14] [15]	87
A.4 Evolução da produção total de energia e respetiva quantidade de energias renováveis em São Jorge [10] [11] [12] [13] [14] [15]	88
A.5 Evolução da produção total de energia e respetiva quantidade de energias renováveis no Pico [10] [11] [12] [13] [14] [15]	88
A.6 Evolução da produção total de energia e respetiva quantidade de energias renováveis no Faial [10] [11] [12] [13] [14] [15]	89
A.7 Evolução da produção total de energia e respetiva quantidade de energias renováveis na Flores [10] [11] [12] [13] [14] [15]	89
A.8 Evolução da produção total de energia e respetiva quantidade de energias renováveis no Corvo [10] [11] [12] [13] [14] [15]	90
A.9 Irradiância média mensal [16]	90
A.10 Temperatura média mensal [16]	90
A.11 Irradiância média mensal [16]	91
A.12 Temperatura média mensal [16]	91
A.13 Irradiância média mensal [16]	91
A.14 Temperatura média mensal [16]	91
A.15 Irradiância média mensal [16]	92
A.16 Temperatura média mensal [16]	92
A.17 Irradiância média mensal [16]	92
A.18 Temperatura média mensal [16]	92
A.19 Irradiância média mensal [16]	92
A.20 Temperatura média mensal [16]	92
A.21 Irradiância média mensal [16]	93
A.22 Temperatura média mensal [16]	93
A.23 Irradiância média mensal [16]	93
A.24 Temperatura média mensal [16]	93
A.25 Localização do sistema híbrido na ilha de Santa Maria [7]	94

A.26	Localização do sistema híbrido na ilha Terceira [7]	94
A.27	Representação do sistema híbrido na ilha Graciosa [39]	95
A.28	Localização do sistema híbrido na ilha de São Jorge [7]	95
A.29	Localização do sistema híbrido na ilha do Pico [7]	95
A.30	Localização do sistema híbrido na ilha do Faial [7]	96
A.31	Localização do sistema híbrido na ilha das Flores [7]	96
A.32	Localização do sistema híbrido na ilha do Corvo [7]	97
A.33	Previsões dos custos das baterias iões de lítio ($\text{€}/kWh$) - Monteiro, Diogo “Dimensio- namento de um Sistema de Armazenamento de Energia para Edifícios Residenciais Utilizando Energia Solar Fotovoltaica”, Dissertação de Mestrado, UC 2017.	98
A.34	Caraterísticas nominais	98

Lista de Tabelas

2.1	Caraterísticas da rede de São Miguel	20
2.2	Principais especificações dos inversores utilizados para os painéis solares	23
2.3	Principais especificações dos controladores de carga utilizados para os painéis solares	23
2.4	Principais especificações dos transformadores instalados no parque fotovoltaico [17]	23
2.5	Principais especificações do transformador instalado no parque eólico [17]	25
2.6	Principais caraterísticas do inversor AC/DC SCS 245	26
2.7	Principais especificações do transformador trifásico instalado na central das baterias [17]	27
2.8	Caraterísticas e valores típicos das baterias de Níquel Hidreto Metálico.	27
2.9	Caraterísticas e valores típicos das baterias de lões de Lítio.	28
2.10	Caraterísticas nominais do banco de baterias	28
3.1	Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos policristalinos	32
3.2	Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio	32
3.3	Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos policristalinos	35
3.4	Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio	36
3.5	Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos policristalinos	39
3.6	Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio	39
3.7	Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos policristalinos	43
3.8	Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio	43
3.9	Dados de produção do sistema durante o mês de setembro 2019 [5]	44
3.10	Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos policristalinos	46
3.11	Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio	46
3.12	Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos policristalinos	49
3.13	Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio	50
3.14	Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos policristalinos	53
3.15	Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio	53
3.16	Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos policristalinos	56

3.17	Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio	57
3.18	Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos policristalinos	60
3.19	Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio	60
4.1	Horário das horas de ponta, cheias e de vazio	64
4.2	Tarifas na Região Autónoma dos Açores - 2019 [18]	64
4.3	Custo total da electricidade em Santa Maria relativamente ao ano de 2018	66
4.4	Estudo económico da primeira solução apresentada para a ilha de Santa Maria	67
4.5	Estudo económico da segunda solução apresentada para a ilha de Santa Maria	67
4.6	Custo total da electricidade em São Miguel relativamente ao ano de 2018	68
4.7	Estudo económico da primeira solução apresentada para a ilha de São Miguel	68
4.8	Estudo económico da segunda solução apresentada para a ilha de São Miguel	69
4.9	Estudo económico da primeira solução apresentada para a ilha Terceira	69
4.10	Estudo económico da segunda solução apresentada para a ilha Terceira	70
4.11	Custo total da electricidade na Terceira relativamente ao ano de 2018	70
4.12	Custo total da electricidade na Graciosa relativamente ao ano de 2018	70
4.13	Estudo económico da primeira solução apresentada para a ilha Graciosa	71
4.14	Estudo económico da segunda solução apresentada para a ilha Graciosa	71
4.15	Custo total da electricidade em São Jorge relativamente ao ano de 2018	71
4.16	Estudo económico da primeira solução apresentada para a ilha de São Jorge	72
4.17	Estudo económico da segunda solução apresentada para a ilha de São Jorge	72
4.18	Estudo económico da primeira solução apresentada para a ilha do Pico	73
4.19	Custo total da electricidade no Pico relativamente ao ano de 2018	73
4.20	Estudo económico da segunda solução apresentada para a ilha do Pico	74
4.21	Estudo económico da primeira solução apresentada para a ilha do Faial	74
4.22	Estudo económico da segunda solução apresentada para a ilha do Faial	75
4.23	Custo total da electricidade no Faial relativamente ao ano de 2018	75
4.24	Custo total da electricidade nas Flores relativamente ao ano de 2018	75
4.25	Estudo económico da primeira solução apresentada para a ilha das Flores	76
4.26	Estudo económico da segunda solução apresentada para a ilha das Flores	76
4.27	Estudo económico da primeira solução apresentada para a ilha do Corvo	77
4.28	Estudo económico da segunda solução apresentada para a ilha do Corvo	77
4.29	Custo total da electricidade no Corvo relativamente ao ano de 2018	78
4.30	Resumo dos dados que avaliam o investimento feito em cada ilha para as soluções apre- sentadas	78

A.1	Caraterísticas da Rede [3]	85
A.2	Caraterísticas da Rede [3]	86
A.3	Caraterísticas da Rede [3]	87
A.4	Caraterísticas da Rede [3]	87
A.5	Caraterísticas da Rede [3]	88
A.6	Caraterísticas da Rede [3]	89
A.7	Caraterísticas da Rede [3]	89
A.8	Caraterísticas da Rede [3]	90
A.9	Resumo de parâmetros técnicos e económicos do projeto	97
A.10	Consumo energético na em Santa Maria	99
A.11	Consumo energético em São Miguel	99
A.12	Consumo energético na Terceira	99
A.13	Consumo energético na Graciosa	99
A.14	Consumo energético em São Jorge	99
A.15	Consumo energético no Pico	99
A.16	Consumo energético no Faial	99
A.17	Consumo energético nas Flores	99
A.18	Consumo energético no Corvo	99

Acrónimos

AC Alternating Current

DC Direct Current

BT Baixa Tensão

MT Média Tensão

SOC State of Charge

1

Introdução

Conteúdo

1.1	Motivação e definição do problema	2
1.2	Objetivos e estrutura da tese	2
1.3	Enquadramento Geográfico e Clima	3
1.4	Sistema Elétrico da Região Autónoma dos Açores	5
1.5	Energias Renováveis	6
1.6	Caraterísticas de cada ilha	7

1.1 Motivação e definição do problema

Atualmente um grande problema da sociedade é a falta de recursos naturais no nosso planeta, dado o consumo excessivo da população. A sobre exploração destes recursos pode resultar em graves consequências ambientais derivadas da queima de combustíveis fósseis. A nível local libertam-se poluentes e partículas de combustão que diminuem a qualidade do ar, a nível global a libertação de gases aumenta o efeito de estufa, causando alterações climáticas que já se podem observar nos dias de hoje.

Dado todo este cenário, torna-se imperativo procurar alternativas sustentáveis para combater, neste caso a produção de energia através de combustíveis fósseis. Principalmente em locais isolados como os Açores, dado o elevado custo e difícil abastecimento de matérias-primas e dadas as dificuldades na produção de energia elétrica tanto para as comunidades que estão instaladas nestes locais, como para os respetivos governos.

As nove ilhas da Região Autónoma dos Açores, têm como principal fonte de energia elétrica centrais termoelétricas alimentadas a combustíveis fósseis. Cada ilha possui um sistema elétrico independente classificado como um microssistema isolado, dado a sua dimensão e localização. Por questões técnicas ligadas à segurança, estabilidade e qualidade no abastecimento, todas ilhas continuam muito dependentes da produção térmica, apesar de haver um esforço no sentido de promover a penetração de produção endógena na região.

Nesta tese será feita uma análise de forma a avaliar o melhor conjunto de tecnologias a aplicar de forma a tornar cada uma das ilhas do arquipélago 100% renovável, tendo em conta vários fatores, tais como cenários económicos, perspetivas de crescimento do consumo, fiabilidade do abastecimento, entre outros. O resultado deste estudo permitirá tirar conclusões sobre a contribuição das várias fontes endógenas renováveis consideradas e quantificar os benefícios de cada uma, quer em termos económicos quer em termos ambientais e de poupança de recursos fósseis de energia.

1.2 Objetivos e estrutura da tese

Tendo em conta os gastos energéticos anuais de cada ilha, os objetivos desta tese de mestrado são:

- Fazer um levantamento dos consumos de energia elétrica nas 9 ilhas dos Açores;
- Dimensionar a potência instalada do sistema solar fotovoltaico, tendo por base o consumo de energia elétrica, a irradiância solar e o espaço disponível na ilha;
- Dimensionar a potência instalada do sistema eólico, tendo por base o consumo de energia elétrica, e a velocidade do vento, no ponto de instalação;
- Elaborar um estudo económico que permita a sustentabilidade energética das diversas ilhas do arquipélago dos Açores utilizando painéis solares fotovoltaicos e energia eólica;

- Análise estatística dos gastos energéticos de cada ilha ao longo de diversos anos de modo a prever a tendência dos gastos energéticos no futuro (por exemplo ao fim de 20 anos).

O capítulo 1 é dedicado ao levantamento bibliográfico de vários fatores relacionados com o trabalho, nomeadamente a situação atual da produção de eletricidade na Região Autónoma dos Açores e projetos relativos à produção de energia renovável, que já estão em desenvolvimento. Ver qual a tecnologia disponível para produção e armazenamento de energia elétrica e quais as fontes de energia disponíveis.

No capítulo 2 são descritas as características gerais de cada micro-rede isolada de modo a ser possível fazer o dimensionamento. Também serão abordados todos os dados que possibilitam simular a produção dos painéis fotovoltaicos e das turbinas eólicas, nomeadamente irradiância, temperatura e velocidade do vento.

No capítulo 3 é feito um estudo comparativo e uma breve revisão das tecnologias disponíveis, posteriormente é feito um dimensionamento com as tecnologias selecionadas.

No capítulo 4 são apresentados os custos das soluções presentes no capítulo 3, é feito um estudo económico e são mencionados os impactos socio-económicos da solução escolhida.

No capítulo 5 são feitas as conclusões acerca do trabalho realizado.

1.3 Enquadramento Geográfico e Clima

O arquipélago dos Açores é uma das regiões ultraperiféricas da União Europeia, sendo que a sua posição oceânica manifesta o grande isolamento geográfico. Encontra-se a cerca de 1430 *km* do Continente Europeu e a mais de 3900 *km* da América do Norte. O arquipélago é formado por 9 ilhas divididas em três grupos: o grupo ocidental que é constituído pelo Corvo e pelas Flores; o grupo central constituído pelo Faial, Pico, São Jorge, Terceira e Graciosa e por fim pelo grupo oriental constituído pelas ilhas de Santa Maria e de São Miguel (Figura 1.1).

A nível populacional, os Açores, segundo os censos de 2011 [19], têm um total de 246772 habitantes residentes e a superfície total do arquipélago corresponde a 2334 *km*², ou seja, cerca de 2,6% do território nacional. Todas as ilhas apresentam diferentes dimensões, sendo as maiores, São Miguel com 745.8 *km*², Pico com 448.4 *km*² e Terceira com 403.4 *km*². De seguida com dimensão intermédia, São Jorge com 245.9 *km*², Faial com 173.8 *km*² e Flores com 141,6 *km*². Por fim, as ilhas com menor dimensão são: Santa Maria com 97,1 *km*², Graciosa com 61,2 *km*² e o Corvo com 17,2 *km*².

Dado a localização geográfica do arquipélago, numa região onde contactam as placas litosféricas americana, euro-asiática e africana, verifica-se que existem aspetos geomorfológicos muito diversificados, tal deve-se ao facto de existirem diversos tipos de erupções na origem de cada ilha. Em traços gerais, a paisagem é caracterizada por uma orografia vigorosa e movimentada, sendo a altitude máxima

das ilhas bastante variável, oscilando entre 402 *m* na Graciosa e 2351 *m* na montanha do Pico, ponto mais alto de Portugal. [20]

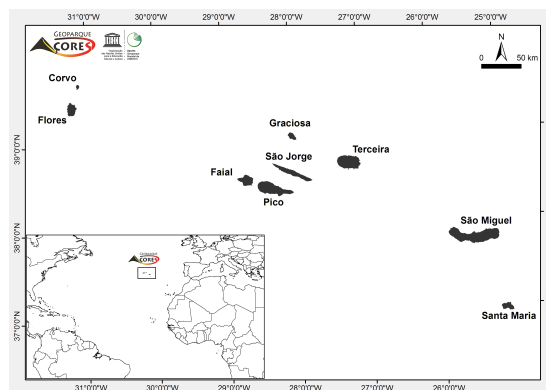


Figura 1.1: Enquadramento geográfico da Região Autónoma dos Açores

A Região situa-se na zona de transição entre as massas de ar quentes e húmidas com origem subtropical e as massas de ar com características mais frescas e secas de proveniência subpolar [20]. Relativamente ao clima é considerado temperado marítimo, mesotérmico húmido com características, dado a baixa amplitude térmica, vento persistente, elevada pluviosidade e humidade relativa.

Com base na apreciação dos valores do clima dos Açores é possível retirar conclusões relativamente à temperatura, precipitação, humidade e ao vento. A temperatura média anual varia regularmente, sendo que a amplitude térmica anual é pouco acentuada e não ultrapassa os 10°C. As temperaturas mais elevadas registam-se no mês de agosto (Verão) aproximando-se normalmente dos 23°C. Relativamente aos valores mais baixos são registados em fevereiro (Inverno), sendo que a temperatura média ronda os 14°C. Os valores mínimos médios não descem abaixo de 10°C, enquanto os máximos normalmente não ultrapassam os 26°C.

Quanto à precipitação na região, é possível concluir que há um aumento da pluviosidade de Oriente para Ocidente, havendo uma precipitação média a oscilar entre os 748 *mm* em Santa Maria e 1479 *mm* nas Flores. A humidade relativa do ar é sempre muito elevada, com médias anuais que normalmente variam entre os 75% e os 95%.

Nos grupos ocidental e central são dominantes os ventos dos quadrantes Sul e Sudoeste, enquanto que no grupo oriental predominam os ventos de Norte e Nordeste, sendo a velocidade média do vento no arquipélago de aproximadamente 24 *km/h*.

Relativamente à nebulosidade da região foi feito um estudo que descreve a análise e a comparação de uma seleção de modelos de radiação difusa quando aplicada à região dos Açores para a avaliação do potencial das tecnologias de energia solar. Assim, conclui-se que as condições meteorológicas dos Açores caracterizam-se, ao longo do seu ciclo anual, por uma grande quantidade de cobertura de nuvens. Para a promoção da sustentabilidade energética da região e a exploração dos seus recur-

os energéticos naturais, o recurso de radiação solar deve ser caracterizado da forma mais detalhada possível, pois essa informação é crucial para determinar a melhor tecnologia solar a ser adotada. Assim, é importante entender não apenas o comportamento global da radiação solar, mas também seus componentes, a irradiância difusa e irradiada. [4]

1.4 Sistema Elétrico da Região Autónoma dos Açores

O consumo total de energia nos Açores em 2016 foi de 801 *GWh*, sendo que 33% da energia produzida foi gerada com fontes de energia renovável e o resto foi produzido em centrais de óleo combustível e gasóleo. Através dos dados apresentados no gráfico da figura 1.2, verifica-se que a maior parcela de produção elétrica na região provém de combustíveis fósseis. Ao nível de produção de energias renováveis na região, é possível verificar que são as centrais geotérmicas as responsáveis pela maior parcela de produção, devido à disponibilidade do recurso, à produção estável destas centrais e à sua capacidade de garantir potência ao sistema. De seguida, com 9% da produção total vem a produção eólica, com um elevado grau de intermitência. Por fim, a energia hídrica que tem um comportamento sazonal. [3]

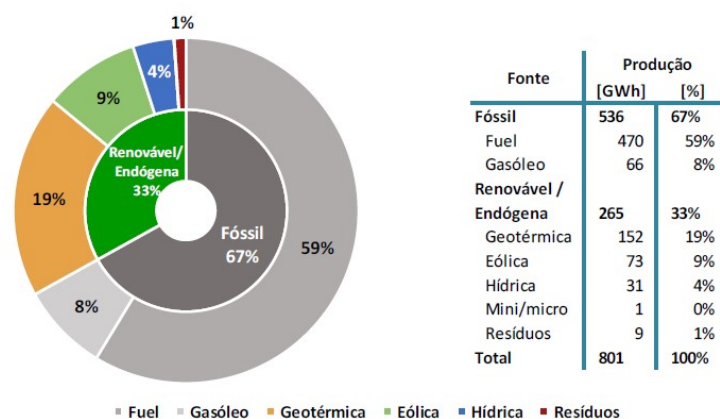


Figura 1.2: Produção Energética na região [3]

Os sistemas de energia existentes nas ilhas dependem principalmente da utilização de combustíveis fósseis que devem ser transportados para as ilhas, acompanhados de elevados custos e impactos ambientais. Neste contexto, uma utilização crescente de energias renováveis é uma ótima oportunidade para reduzir esses problemas. No entanto, a integração de energias renováveis flutuantes, especialmente em pequenas e fracas redes de ilhas, é um desafio técnico. O armazenamento de energia é uma solução técnica para dissociar o fornecimento e a procura de eletricidade, proporcionando assim flexibilidade. Combinando energias renováveis e sistemas de armazenamento em abordagens de energia híbrida, é possível substituir a geração de eletricidade fóssil em aproximadamente 100%. Concluindo,

o uso de fontes renováveis como alternativa à geração de eletricidade fóssil em ilhas torna-se cada vez mais atraente do ponto de vista económico e ecológico. [21]

1.5 Energias Renováveis

Desde 1900 que se verifica a utilização de fontes de energias endógenas no arquipélago dos Açores, inicialmente começaram por explorar a produção de energia via recurso hídrico e a partir de 1980 via recurso Geotérmico.

No geral, ilhas proporcionam condições favoráveis para a utilização de energias renováveis, especialmente devido às condições favoráveis de vento e ao nível solar. Dado o carácter de imprevisibilidade de produção das energias renováveis é necessário no caso de uma micro-rede isolada haver mais do que uma fonte. Sendo que também é necessário implementar um sistema de armazenamento para colmatar os períodos em que as fontes não produzem energia suficiente, ou mesmo quando produz mais do que a energia necessária.

King Island na Austrália é uma ilha que atualmente incorpora um sistema híbrido, em que os dados de geração e carga estão disponíveis em tempo real no site [22] (figura 1.3). Anteriormente, a eletricidade na remota ilha era gerada inteiramente a partir de diesel, com uma estação com potência nominal de 6 MW. Anualmente produz aproximadamente 12 GWh e atinge normalmente uma ponta de 2,5 MW. O Projeto de Integração Renovável de King Island (KIREIP) foi uma iniciativa da Hydro Tasmania, com a assistência da Agência Australiana de Energia Renovável (ARENA).

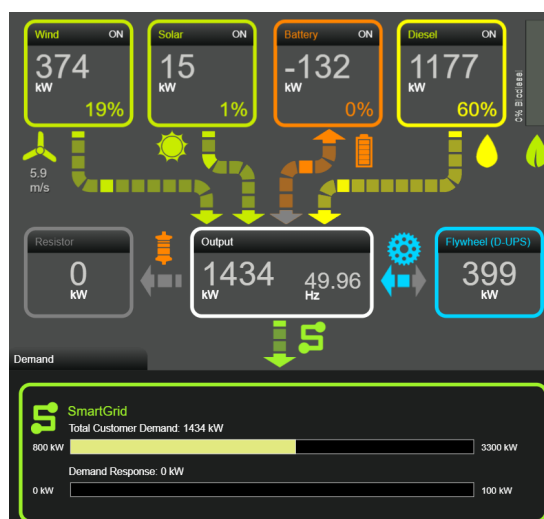


Figura 1.3: Painel de energia em tempo real - King Island [Dados 8/10/19]

Sistemas energéticos existentes como este, dependem principalmente da utilização de combustíveis fósseis, que devem ser transportados para as ilhas acompanhados de altos custos e impactos ambien-

tais. Nesse contexto, uma crescente utilização de fontes renováveis é uma grande oportunidade para reduzir esses problemas.

O principal objetivo de uma solução de um sistema de energia híbrido (energia eólica, fotovoltaica e sistema de armazenamento de energia) é maximizar a contribuição dos geradores e minimizar o custo de geração de eletricidade do ciclo de vida das redes insulares. Neste caso, o sistema de armazenamento de energia (ESS) é utilizado para armazenar energia durante períodos de alta produção de eletricidade e devolvê-lo ao consumo em períodos de baixa irradiância solar ou à noite. [23]

1.6 Características de cada ilha

1.6.1 Santa Maria

A ilha de Santa Maria está localizada no grupo oriental e situa-se no extremo sudeste do arquipélago. Pelos censos de 2011 verifica-se que a ilha tem 5552 habitantes. [19]

De acordo com os dados do site de meteorologia meteoblue relativos ao ano de 2018, os ventos predominantes ao longo do ano na ilha vêm de nor-nordeste e do norte, Figura 1.4.

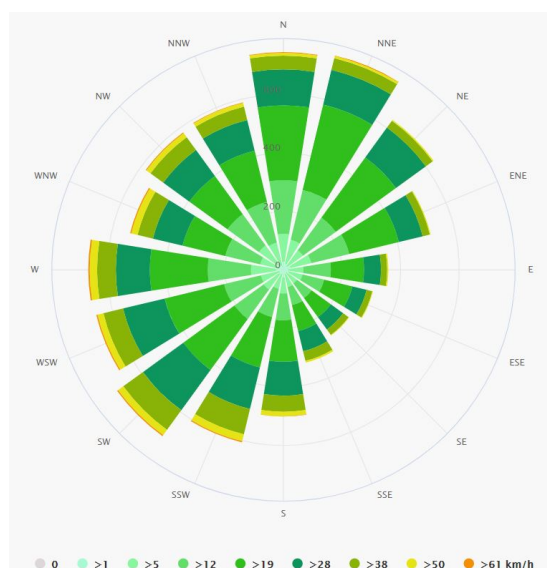


Figura 1.4: Intensidade e direção do vento na ilha de Santa Maria [4]

O sistema elétrico da ilha de Santa Maria é constituído pela Central Termoelétrica do Aeroporto (CTAR) e pelo Parque Eólico do Figueiral (PEFG). A Central do Aeroporto possui seis grupos geradores térmicos que totalizam uma potência instalada de cerca de 6,9 MW (9 MVA). O Parque Eólico do Figueiral é constituído por cinco torres eólicas com aerogeradores de 300 kW, ou seja, tem uma potência instalada de 1,5 MW.

A energia elétrica total produzida em 2016 foi de 21,3 *GWh*, sendo que cerca de 88% da energia foi produzida pela central térmica, e os restantes 12% foram produzidos pelo parque eólico. A ponta máxima do ano foi registada no dia 18 de agosto pelas 21h00, e o vazio mais acentuado no dia 15 de maio pelas 07h00. Segundo os valores de quatro dias registados ao longo das quatro estações do ano, a ponta verificou-se a 20 de janeiro com um valor de 3,306 *kW* e o vazio verificou-se a 20 de abril com um valor de 1,864 *kW*. [3]

1.6.2 São Miguel

A ilha de São Miguel encontra-se no grupo oriental, é a maior ilha do arquipélago e, segundo os censos de 2011 [19], é onde se encontra aproximadamente 56% da população do arquipélago. A cidade de Ponta Delgada tem 68809 habitantes, a cidade da Lagoa tem 14442 habitantes, a cidade da Ribeira Grande tem 32112 habitantes, a vila do Nordeste tem 4937 habitantes, a vila da Povoação tem 6327 habitantes, por fim a vila de Vila Franca do Campo tem 11229 habitantes, fazendo assim um total de 137856 habitantes.

De acordo com os dados do site de meteorologia meteoblue relativos ao ano de 2018, os ventos predominantes ao longo do ano na ilha vêm de sudoeste e do norte, Figura 1.5.

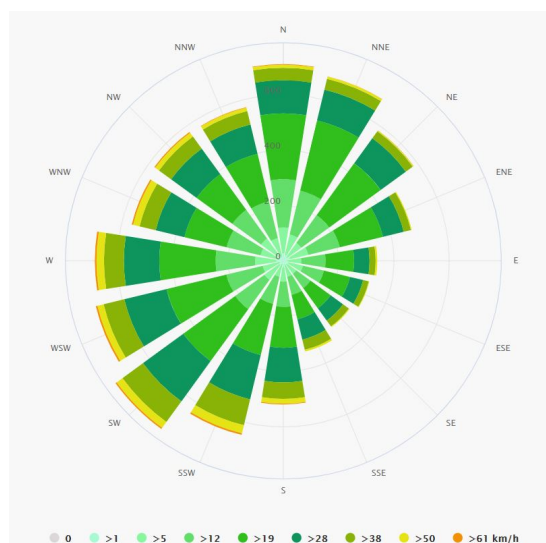


Figura 1.5: Intensidade e direção do vento na ilha de São Miguel [4]

O sistema eletroprodutor da ilha de São Miguel é constituído pela Central Termoelétrica do Caldeirão (CTCL), pelas Centrais Geotérmicas da Ribeira Grande (CGRG) e Pico Vermelho (CGPV), pelo Parque Eólico dos Graminhais (PEGR) e pelas Centrais Hídricas dos Túneis (CHTN), Tambores (CHTB), Fábrica Nova (CHFN), Canário (CHCN), Foz da Ribeira (CHFR), Ribeira da Praia (CHRP) e Salto do Cabrito (CHSC).

A Central do Caldeirão possui oito grupos geradores térmicos com uma potência instalada de cerca de 98 MW (123,6 MVA). A Central Geotérmica da Ribeira Grande é constituída por quatro grupos geradores com uma potência total instalada de 8,3 MW. A Central Geotérmica do Pico Vermelho possui um grupo gerador de 13 MW (16,25 MVA). O Parque Eólico dos Graminhais, com uma potência instalada de 9 MW, é constituído por dez torres eólicas com aerogeradores de 900 kW. As sete centrais hídricas com uma potência total instalada de 5,1 MW, estão dispersas pela ilha.

A energia elétrica total produzida em 2016 foi de 430 GWh, sendo que cerca de 54% da energia foi produzida pela central térmica, 35% pelas centrais geotérmicas, 6% pelas centrais hídricas e 5% pelo parque eólico. A ponta máxima do ano foi registada no dia 31 de agosto pelas 14h30, e o vazio mais acentuado no dia 23 de maio pelas 04h00. Segundo os valores de quatro dias registados ao longo das quatro estações do ano, a ponta verificou-se a 20 de janeiro com um valor de 66,46 MW e o vazio verificou-se a 20 de abril com um valor de 34,37 MW. [3]

1.6.3 Terceira

A ilha Terceira pertence ao grupo central e segundo os dados dos censos de 2011 [19], tem atualmente 56437 habitantes divididos pelas duas cidades da ilha. A cidade de Angra do Heroísmo tem 35402 habitantes e a Praia da Vitória tem 21035 habitantes.

De acordo com os dados do site de meteorologia meteoblue relativos ao ano de 2018, os ventos predominantes ao longo do ano na ilha vêm de sudoeste, Figura 1.6.

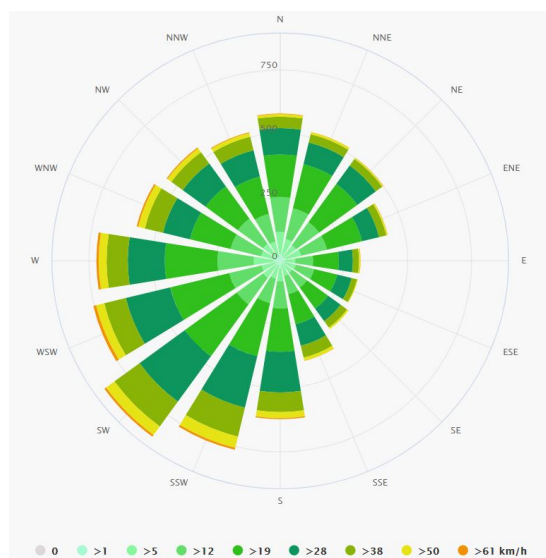


Figura 1.6: Intensidade e direção do vento na ilha Terceira [4]

O sistema eletroprodutor da ilha Terceira é constituído pela Central Termoelétrica de Belo Jardim (CTBJ), pelo Parque Eólico da Serra do Cume (PESC) e pelas Centrais Hídricas da Cidade (CHCD),

Nasce D'Água (CHNA) e São João (CHSJ).

Este sistema eletroprodutor integra ainda mais duas centrais, propriedade de produtores independentes: o Parque Eólico da Serra do Cume Norte (PESN), composto por 4 aerogeradores e com um valor de potência total instalada de 3,6 *MW*, e a Central de Valorização Energética de Resíduos Sólidos Urbanos TERAMB (TERA) com uma potência instalada de 2,6 *MW*.

A Central de Belo Jardim possui dez grupos geradores térmicos que totalizam uma potência instalada de cerca de 61,1 *MW* (76,4 *MVA*). O Parque Eólico da Serra do Cume, com uma potência instalada de 9 *MW*, é constituído por dez torres eólicas com aerogeradores de 900 *kW*. As três centrais hídricas, que totalizam uma potência instalada de 1,4 *MW*, estão localizadas na zona de Angra do Heroísmo.

A energia elétrica total produzida em 2016 foi de 198,2 *GWh*, sendo que cerca de 79% da energia foi produzida pela central térmica, 17% pelos parques eólicos e 4% pela central de valorização de resíduos. A ponta máxima do ano foi registada no dia 17 de agosto pelas 11h00, e o vazio mais acentuado no dia 3 de abril pelas 07h00. Segundo os valores de quatro dias registados ao longo das quatro estações do ano, a ponta verificou-se a 20 de janeiro com um valor de 32,3 *kW* e o vazio verificou-se a 13 de abril com um valor de 15,4 *kW*. [3]

Aquando da inauguração da nova central geotérmica da ilha Terceira no Pico Alto a 19 de Novembro de 2017, o presidente da Eletricidade dos Açores (EDA), Duarte Ponte, afirmou que: “A central geotérmica do Pico Alto tem vindo a produzir de forma constante a uma potência à volta dos 4 *MW*, superior à potência nominal contratada desta central que foi de 3,5 *MW* e “Estaremos atentos aos resultados da exploração do reservatório geotérmico do Pico Alto durante o próximo ano e depois de uma análise detalhada e atenta com os nossos consultores científicos iremos equacionar a sua expansão para 10 *MW*, tal como tínhamos previsto”. A central geotérmica do Pico Alto tem uma potência líquida de 3,5 *MW*, prevendo-se que cubra 10% das necessidades de eletricidade da ilha.

1.6.4 Graciosa

A ilha Graciosa está situada no extremo noroeste do grupo central e tem uma população de 4391 habitantes [19]. O sistema eletroprodutor da ilha Graciosa é constituído pela Central Termoelétrica da Graciosa (CTGR), que possui seis grupos geradores térmicos com uma potência instalada de cerca de 4,7 *MW* (5,9 *MVA*). A energia elétrica total produzida em 2016 foi de 14,2 *GWh*, sendo que a ponta máxima do ano foi registada no dia 13 de janeiro pelas 19h00, e o vazio mais acentuado no dia 30 de maio pelas 06h30. Segundo os valores de quatro dias registados ao longo das quatro estações do ano, a ponta verificou-se a 20 de janeiro com um valor de 2,276 *kW* e o vazio verificou-se a 20 de abril com um valor de 1,154 *kW*. [3]

Recentemente foi desenvolvido um projeto pioneiro na ilha Graciosa, que combina um sistema de ar-

mazenamento de energia em bateria (BESS) em grande escala com geração de eletricidade renovável a partir de energia eólica e energia fotovoltaica numa abordagem de energia híbrida. Os resultados da avaliação do ciclo de vida mostram uma redução de impactos ambientais de aproximadamente 43%, devido à transformação no sistema híbrido de fornecimento de eletricidade com altas quotas de energias renováveis (65%). No novo sistema a maioria dos impactos ambientais ainda é causada pela geração restante de eletricidade baseada em diesel. Os impactos ambientais, associados à construção do sistema de armazenamento de energia das baterias em larga escala, representam apenas 6% do total de impactos. A energia eólica e a energia fotovoltaica representam 18% e 14%, respetivamente. A partir de agora, e de acordo com o resultado dos testes, cerca de 65% da eletricidade necessária para a ilha é produzida a partir de fontes renováveis, em combinação com um sistema de armazenamento, tal como está representado no esquema da figura 1.7. [21]

Este projeto coloca todo o arquipélago, na linha da frente pela utilização de tecnologias e sistemas de ponta que permitem a valorização energética dos seus recursos naturais. Além dos benefícios que estão inerentes à sustentabilidade ambiental, associados à redução da emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera, "Graciólca" vai contribuir para uma diminuição da importação de combustíveis fósseis para a Região. Na figura 1.8 é possível observar a interface do sistema atual de gestão energética da ilha, bem como todos os componentes do sistema híbrido de energias renováveis e do sistema eletroprodutor explicado anteriormente. [23]

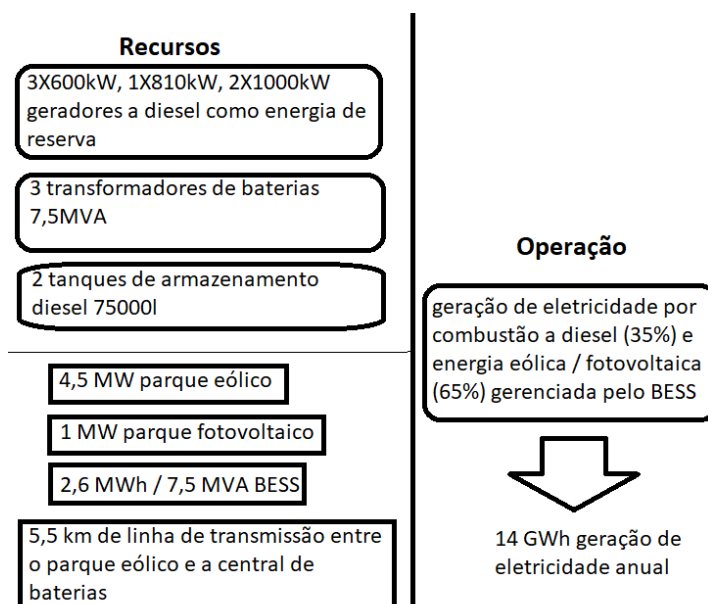


Figura 1.7: Resumo e objetivos da atual instalação de energias renováveis na ilha Graciosa

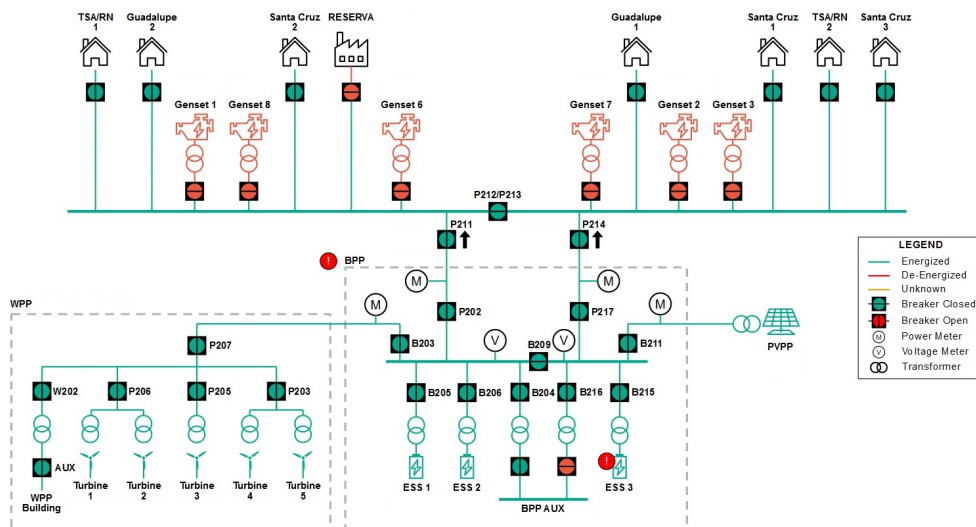


Figura 1.8: Esquema unifilar do sistema de energia híbrida instalado na ilha Graciosa - dados obtidos pela Graciosa e Greensmith [5]

1.6.5 São Jorge

A ilha de São Jorge tem uma população de 9171 habitantes [19] e também está situada no grupo central. Esta ilha tem uma particularidade quanto ao relevo e morfologia, isto deve-se ao facto de a sua origem estar associada a um vulcanismo fissural. A ilha tem 53 *km* de comprimento, 8 *km* de largura e é atravessada por uma cordilheira montanhosa que atinge a altitude máxima de 1 053 metros. A costa é em geral rochosa, com arribas altas e escarpadas possui também muitas fajãs, quase todas habitadas mas de acesso muito difícil.

De acordo com os dados do site de meteorologia meteoblue relativos ao ano de 2018, os ventos predominantes ao longo do ano na ilha vêm de sudoeste, Figura 1.9.

O sistema elétrico da ilha de São Jorge é constituído pela Central Termoelétrica do Caminho Novo (CTCN) e pelo Parque Eólico do Pico da Urze (PEPU). A Central do Caminho Novo possui sete grupos geradores térmicos com uma potência total instalada de cerca de 8,2 *MW* (10,4 *MVA*). O Parque Eólico do Pico da Urze, com uma potência instalada de 1,8 *MW*, é constituído por seis torres eólicas com aerogeradores de 300 *kW*.

A energia elétrica total produzida em 2016 foi de 28,8 *GWh*, sendo que cerca de 85% da energia foi produzida pela central térmica e os restantes 15% foram produzidos pelo parque eólico. A ponta máxima do ano foi registada no dia 15 de julho pelas 10h00, e o vazio mais acentuado no dia 17 de abril pelas 07h30. Segundo os valores de quatro dias registados ao longo das quatro estações do ano, a ponta verificou-se a 20 de janeiro com um valor de 4,375 *kW* e o vazio verificou-se a 20 de abril com um valor de 2,536 *kW*. [3]

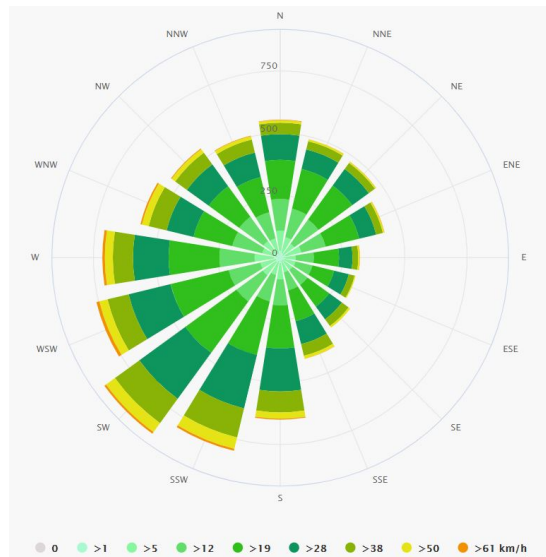


Figura 1.9: Intensidade e direção do vento na ilha de São Jorge [4]

1.6.6 Pico

A ilha do Pico está situada no grupo central e segundo os censos de 2011 [19], tem 14148 habitantes distribuídos pelos três concelhos da ilha.

De acordo com os dados do site de meteorologia meteoblue relativos ao ano de 2018, os ventos predominantes ao longo do ano na ilha vêm de sudoeste, Figura 1.10.

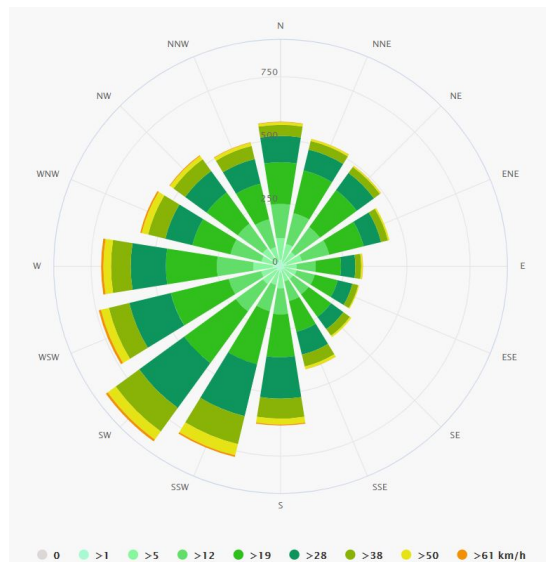


Figura 1.10: Intensidade e direção do vento na ilha do Pico [4]

O sistema eletroprodutor da ilha do Pico é constituído pela Central Termoelétrica do Pico (CTPI), e pelo Parque Eólico Terras do Canto (PETC). A Central Termoelétrica possui sete grupos geradores

térmicos que totalizam uma potência instalada de cerca de 16,8 MW (21 MVA). O Parque Eólico Terras do Canto, com uma potência instalada de 2,4 MW, é constituído por oito torres eólicas com aerogeradores de 300 kW.

A energia elétrica total produzida em 2016 foi de 45,85 GWh, sendo que cerca de 87% da energia foi produzida pela central térmica e os restantes 13% foram produzidos pelo parque eólico. A ponta máxima do ano foi registada no dia 10 de agosto pelas 22h00, e o vazio mais acentuado no dia 28 de fevereiro pelas 07h30. Segundo os valores de quatro dias registados ao longo das quatro estações do ano, a ponta verificou-se a 20 de julho com um valor de 7,123 kW e o vazio verificou-se a 20 de abril com um valor de 4,158 kW. [3]

1.6.7 Faial

A ilha do Faial situa-se no extremo ocidental do grupo central e tem uma população de 14994 habitantes [19] no concelho da cidade da Horta.

De acordo com os dados do site de meteorologia meteoblue relativos ao ano de 2018, os ventos predominantes ao longo do ano na ilha vêm de sul-sudeste, Figura 1.11.

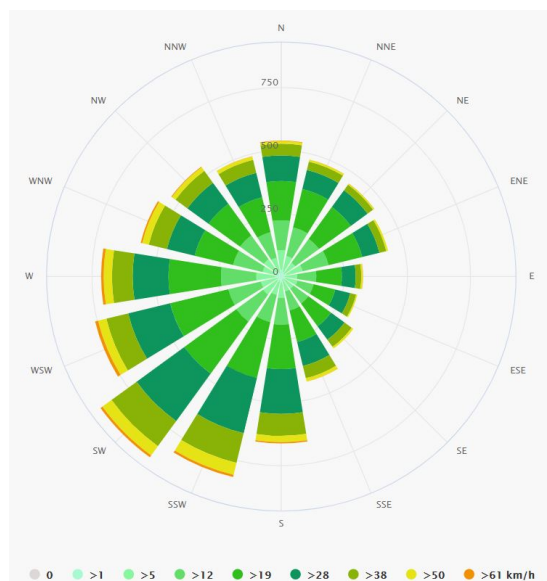


Figura 1.11: Intensidade e direção do vento na ilha do Faial [4]

O sistema eletroprodutor da ilha do Faial é constituído pela Central Termoelétrica de Santa Bárbara (CTSB), pelo Parque Eólico do Salão (PESL) e pela Central Hídrica do Varadouro (CHVR). A Central de Santa Bárbara possui seis grupos geradores térmicos que totalizam uma potência instalada de 19,1 MW (23,8 MVA). O Parque Eólico do Salão, com uma potência instalada de 4,25 MW, é constituído por cinco torres eólicas com aerogeradores de 850 kW e a Central Hídrica do Varadouro possui

um grupo de com uma potência total instalada de 0,32 MW.

A energia elétrica total produzida em 2016 foi de cerca de 48,8 GW, sendo que cerca de 89% da energia foi produzida pela central térmica, enquanto que os restantes 11% foram produzidos pelo parque eólico. A ponta máxima do ano foi registada no dia 5 de agosto pelas 14h30, e o vazio mais acentuado no dia 30 de outubro pelas 08h00. Segundo os valores de quatro dias registados ao longo das quatro estações do ano, a ponta verificou-se a 20 de janeiro com um valor de 7,856 kW e o vazio verificou-se a 20 de abril com um valor de 4,050 kW. [3]

1.6.8 Flores

A ilha das Flores situa-se no grupo ocidental e segundo os censos de 2011 [19], tem 3793 habitantes distribuídos pelos dois concelhos da ilha.

De acordo com os dados do site de meteorologia meteoblue relativos ao ano de 2018, os ventos predominantes ao longo do ano na ilha vêm de sul-sudeste, Figura 1.12. Embora se verifique que nas Flores a velocidade do vento é menor, comparando com as restantes ilhas, não ultrapassando os 28km/h.

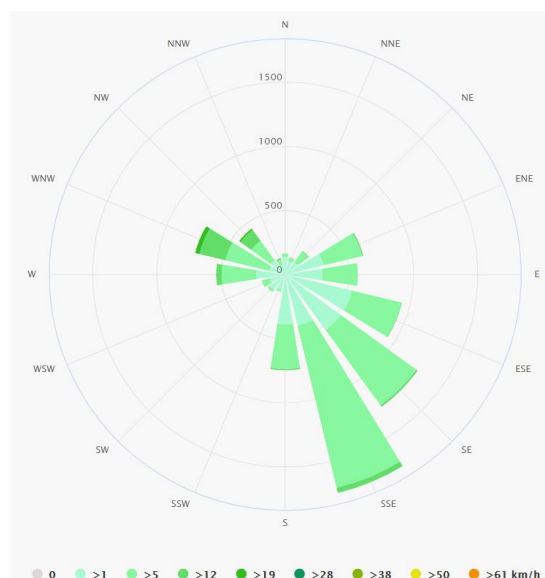


Figura 1.12: Intensidade e direção do vento na ilha das Flores [4]

O sistema eletroprodutor da ilha das Flores é constituído pela Central Termoelétrica das Flores (CTFL), pela Central Hídrica de Além Fazenda (CHAF) e pelo Parque Eólico Boca da Vereda (PEBV). A Central Termoelétrica possui cinco grupos geradores térmicos que totalizam uma potência instalada de cerca de 3,7 MW (4,64 MVA), e um volante de inércia (flywheel) de 500 kVA. A Central Hídrica de Além Fazenda é constituída por três grupos de geradores com uma potência total instalada de

1,632 *kW*. O Parque Eólico Boca da Vereda, com uma potência instalada de 0,6 *MW*, é constituído por duas torres eólicas com aerogeradores de 300 *kW*.

A energia elétrica total produzida em 2016 foi de 11,74 *GWh*, sendo que cerca de 50% da energia foi produzida pela central térmica, 42% pela central hídrica e 8% pelo parque eólico. A ponta máxima do ano foi registada no dia 9 de agosto pelas 12h00, e o vazio mais acentuado no dia 17 de abril pelas 07h30. Segundo os valores de quatro dias registados ao longo das quatro estações do ano, a ponta verificou-se a 20 de janeiro com um valor de 1,812 *kW* e o vazio verificou-se a 20 de abril com um valor de 1,058 *kW*. [3]

1.6.9 Corvo

A ilha do Corvo pertence ao grupo ocidental e tem uma população de 430 habitantes. [19]

De acordo com os dados do site de meteorologia meteoblue relativos ao ano de 2018, os ventos predominantes ao longo do ano na ilha vêm de sudoeste, Figura 1.13.

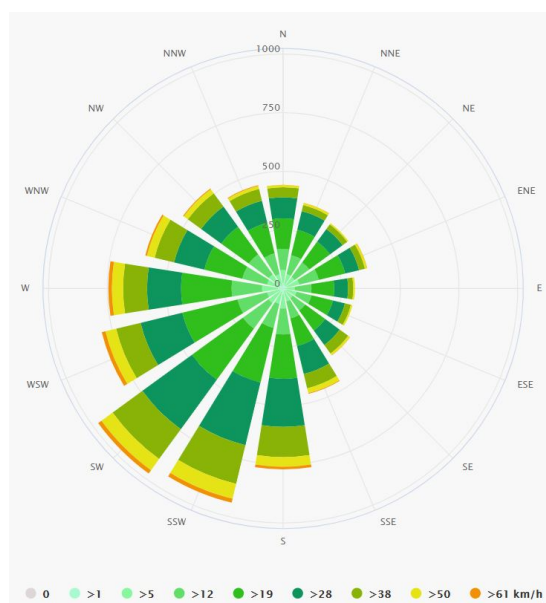


Figura 1.13: Intensidade e direção do vento na ilha do Corvo [4]

O sistema eletroprodutor da ilha do Corvo é constituído pela Central Termoelétrica do Corvo (CTCV), esta possui cinco grupos geradores térmicos que totalizam uma potência instalada de cerca de 0,8 *MW* (1 *MVA*). A energia elétrica total produzida na ilha do Corvo foi de 1,683 *GWh*. A ponta máxima do ano foi registada no dia 7 de novembro pelas 19h30, e o vazio mais acentuado no dia 27 de maio pelas 07h00. Segundo os valores de quatro dias registados ao longo das quatro estações do ano, a ponta verificou-se a 19 de outubro com um valor de 269 *kW* e o vazio verificou-se a 20 de abril com um valor de 142 *kW*. [3]

2

Metodologia

Conteúdo

2.1 Metodologia - São Miguel	18
2.2 Tecnologias para produção de energia fotovoltaica	22
2.3 Tecnologias para produção de energia eólica	24
2.4 Armazenamento	25

Neste capítulo são descritas as características gerais de cada micro-rede isolada, de modo a ser possível fazer o dimensionamento. Assim, é necessário sintetizar os vários dados de cada sistema, nomeadamente a evolução dos valores de emissão para a rede, sendo que estes foram obtidos através dos documentos [10] [11] [12] [13] [14] [15] relativos aos anos de 2006, 2013, 2018 e 2019. Serão selecionados os dados totais de emissão e não os de consumo, pois os de emissão já têm em conta as perdas da rede. Serão ainda avaliados todos os recursos instalados atualmente nas ilhas e as características de cada rede [3].

Também serão abordados todos os dados que possibilitam simular a produção dos painéis fotovoltaicos e das turbinas eólicas, nomeadamente irradiância, temperatura e velocidade do vento. Para posteriormente, após definir os locais para as fontes renováveis, dimensionar o sistema de cada ilha.

Tudo o que foi descrito anteriormente será feito neste capítulo apenas para a maior ilha do arquipélago (São Miguel), todos os dados das outras ilhas são apresentados nos anexos A.1, A.2 e A.3.

Por fim, será feita uma avaliação comparativa e uma breve revisão das tecnologias disponíveis, sendo que no próximo capítulo é feito um dimensionamento com as tecnologias selecionadas.

2.1 Metodologia - São Miguel

2.1.1 Principais características da rede

Pretende-se instalar um sistema de energia híbrido com um sistema de armazenamento de energia, assim dado a distância entre as fontes torna-se necessário instalar subestações elevadoras de tensão. Assim, é possível observar um esquema unifilar deste sistema que se pretende implementar na figura 2.1.

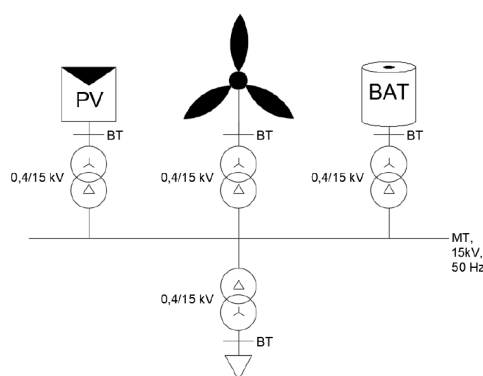


Figura 2.1: Esquema geral do sistema híbrido que se pretende instalar no arquipélago dos Açores [6]

Para fazer o dimensionamento teve-se por base os seguintes passos, indicados na figura 2.2, analisando os dados de cada ilha presentes nos documentos [10] e [2].

Os dados base para a criação do modelo são:

De acordo com os dados relativos a janeiro de 2019

→ ~ 48% da produção de energia ainda é assegurada por fontes de energia fóssil

↻ 70 MW → Ponta mais alta
Potência nominal para o tamanho das baterias

Produção anual total de 2018 436,86 GWh (dados de dezembro de 2018)

↻ ~ 210 GWh → Produção energética anual
valor base para o dimensionamento da produção eólica e fotovoltaica

Figura 2.2: Fluxograma geral de base para o dimensionamento do sistema híbrido

As posições dos várias componentes do sistema estão representados na figura 2.3. A localização da Central de Baterias fica próxima da Central Termoelétrica do Caldeirão, assim como o parque fotovoltaico, de modo a reduzir os custos dos cabos. Relativamente ao parque eólico o objetivo será acrescentar o parque já existente no planalto dos Graminhais, a ligação à central será feita através de cabos de MT com uma distância de aproximadamente 30 *km*.

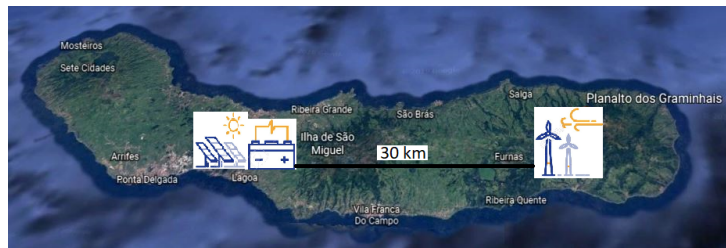


Figura 2.3: Localização do sistema híbrido na ilha de São Miguel [7]

Através dos dados presentes no documento [2], é possível retirar os resultados apresentados na tabela 2.1, onde estão as características da rede no passado ano de 2018. Estes resultados foram obtidos através das seguintes fórmulas:

$$E_{avg_d} = \frac{E_{anual}}{365} \quad (2.1)$$

$$P_{avg_d} = \frac{E_{avg_d}}{24} \quad (2.2)$$

Na figura 2.4, obtida através dos documentos da EDA - Electricidade dos Açores [10] [11] [12] [13] [14] [15], é possível analisar a evolução da produção energética e a correspondente evolução da emissão de energias renováveis ao longo dos anos, nomeadamente entre os anos de 2006 e de 2019. Neste gráfico estão caracterizados os meses de janeiro e de agosto, dado que são os meses críticos em

Tabela 2.1: Características da rede de São Miguel

Carga Máxima	P_{max} [MW]	74,98
	Q_{max} [Mvar]	20,77
Energia Anual Produzida [GWh]		436,86
Energia Média Diária [GWh]		1,20
Potência Média Diária [MW]		49,87

termos de produção. É importante comparar a produção energética num mês de verão com a de um mês de inverno, porque a energia eólica e a energia fotovoltaica oscilam, de forma que a produção total de energias renováveis é diferente.

De acordo com os dados mais recentes, sabe-se que a produção anual de energia no último ano (2018) foi de 436,9 GWh [2]. Atualmente, segundo dados de janeiro de 2019 [10], aproximadamente 52% da energia emitida é produzida por fontes renováveis, sendo 40,9% produzido por fontes geotérmicas, 5,1% correspondem a energia eólica e 6% correspondem a energia hídrica.

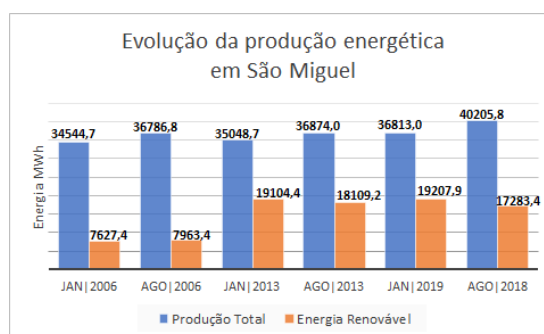


Figura 2.4: Evolução da produção total de energia e respetiva quantidade de energias renováveis em São Miguel

Segundo os censos entre 1991 e 2011 [19] [24] [25], podemos afirmar que a evolução da população em São Miguel é aproximadamente linear. Através do documento [10] verifica-se que o número de habitantes em São Miguel é 138213, de acordo com as Estimativas Anuais Provisórias da População Residente - Última atualização: 15 de Junho de 2018 (INE). Através desta estimativa de 2018 é possível inferir que a população nos próximos 20 anos não aumentará linearmente como nos 20 anos anteriores. Portanto, o dimensionamento feito com os dados de 2019 só precisará de alguns ajustes no futuro.

Para as restantes ilhas do arquipélago as conclusões populacionais serão as mesmas, sendo que o dimensionamento será feito tendo em conta os valores de produção atual. As fontes renováveis assegurarão mais do que a energia necessária nalguns dias do ano, também já a contar com oscilações populacionais, sendo que todas as ilhas num prazo de 20 anos precisarão de ajustes nas instalações.

2.1.2 Dados para dimensionamento de turbinas eólicas

Relativamente aos dados do vento, obtiveram-se os dados da velocidade média em cada hora durante um ano, [26]. Estes dados foram retirados numa posição mais central do arquipélago, na ilha Graciosa, sendo que estes dados serão utilizados para o dimensionamento de todas as ilhas.

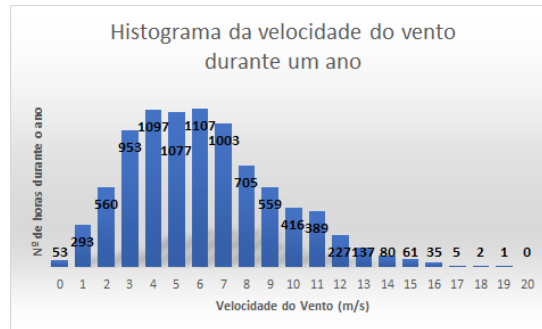


Figura 2.5: Histograma da velocidade do vento durante um ano

Sendo P_{owt} a potência de saída correspondente a uma dada velocidade de vento v e N_h o número de horas para cada valor de vento do histograma, representado na figura 2.5 é possível calcular a energia anual produzida através da fórmula 2.3.

$$E_{anual} = \sum_{i=v_{cut-in}}^{v_{cut-off}} (P_{owt_i} * N_{h_i}) \quad (2.3)$$

2.1.3 Dados para dimensionamento de painéis fotovoltaicos

Pelos dados obtidos em [16] é possível traçar a curva da média mensal de irradiância e de temperatura na ilha de São Miguel durante um ano, como é representado na Figura 2.6 e na Figura 2.7, respetivamente.

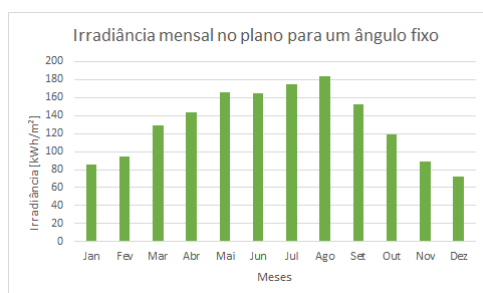


Figura 2.6: Irradiância média mensal

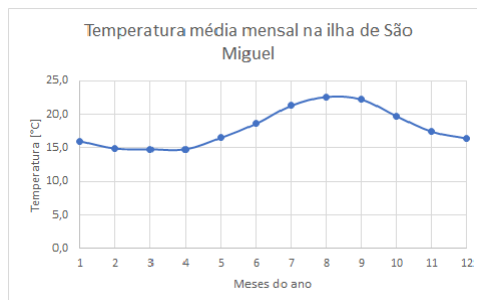


Figura 2.7: Temperatura média mensal

Quanto aos valores de temperatura não irão influenciar a eficiência dos painéis, pois a temperatura ambiente nunca atinge valores superiores a 45°C permitindo que a temperatura do módulo fotovoltaico não ultrapasse a faixa de temperatura operacional.

2.2 Tecnologias para produção de energia fotovoltaica

Os painéis serão tratados como uma fonte única de modo a simplificar o esquema unifilar, sendo que na ligação à rede usou-se conversores DC/DC elevador (Boost), inversores AC/DC e transformadores, tal como está representado na figura 2.8.

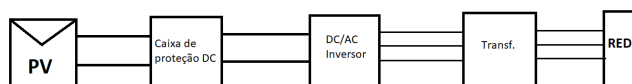


Figura 2.8: Esquema unifilar pretendido para o parque fotovoltaico

De modo a detetar sobretensões transitórias na rede elétrica e a desviar as correntes de surto é necessário implementar proteções. O modelo escolhido para proteção do parque fotovoltaico foi o TPU S430 da Efacec, que faz a proteção multifuncional de linha/alimentador, incluindo funções de corrente, tensão e frequência, juntamente com verificação sincronizada, localizador de falhas, falha do disjuntor, queda de carga e lógica definida pelo usuário. [27]

2.2.1 Painéis Fotovoltaicos Policristalinos

A tecnologia de silício cristalino, neste caso painéis fotovoltaicos policristalinos são uma tecnologia viável para este tipo de projeto, pois embora os painéis monocristalinos tenham uma maior eficiência o custo é mais elevado. Ambas as tecnologias garantem a viabilidade do projeto e o rendimento a longo prazo, mas para o tipo de clima dos Açores, em que há uma boa exposição solar, a melhor opção são os painéis policristalinos dado que dão uma boa relação de preço e qualidade. Os painéis policristalinos apresentam um preço por Watt de aproximadamente 0,2 euros, enquanto que os painéis monocristalinos apresentam um preço por Watt de aproximadamente 0,3 euros. [28]

Os painéis utilizados para o dimensionamento da ilha de São Miguel foram os painéis Axitec (modelo AC-250P/156-60S) [29], que têm as seguintes especificações: $P_{mp}=250W_p$, $U_{mp}=30,70V$, $I_{mp}=8,18A$, $U_{oc}=37,80V$, $I_{sc}=8,71A$, $\eta = 15,37\%$. A ilha de São Miguel foi a primeira a ser dimensionada e teve-se por base os painéis anteriormente especificados, pois foram os utilizados no projeto de energia híbrida feito na ilha Graciosa.

Para as restantes ilhas foram utilizados os painéis SolarWatt [30], pois segundo a lista de painéis solares 2019 elaborada por *Bloomberg New Energy Finance PV Module Tiering System* [31] são os painéis com a maior garantia do mundo e também apresentam uma eficiência superior comparando com os painéis Axitec. O que para o caso em estudo é bom, pois como o clima dos Açores é muito variável é importante ter uma boa garantia. Os painéis SolarWatt (modelo Vision 60P), têm as seguintes especificações: $P_{mp}=280W_p$, $U_{mp}=31,30V$, $I_{mp}=9,02A$, $U_{oc}=38,90V$, $I_{sc}=9,68A$, $\eta=17\%$. Este foi

o modelo escolhido, pois atualmente os painéis de uso mais comum têm uma máxima potência de $280W_p$.

No parque fotovoltaico constituído por painéis policristalinos, 5 painéis estarão ligados em série, sendo que ligado a estes está um controlador de carga (MPPT) e um inversor. Entre si os conjuntos de painéis estarão ligados em paralelo. O inversor escolhido foi o modelo Sunny Boy 1.5 da marca SMA, com as seguintes especificações apresentadas na tabela 2.2. [32]

Tabela 2.2: Principais especificações dos inversores utilizados para os painéis solares

Eficiência Máxima	97,2%
Potência DC Máxima	1600 W
Tensão Máxima de entrada	600 V
Corrente Máxima de entrada	10 A

O controlador de carga escolhido foi o modelo 150/35 da BlueSolar (tabela 2.3). [33]

Tabela 2.3: Principais especificações dos controladores de carga utilizados para os painéis solares

Eficiência Máxima	98%
Potência DC Máxima	1500 W
Tensão Nominal	36 V
Corrente Curto-Circuito	40 A

Tabela 2.4: Principais especificações dos transformadores instalados no parque fotovoltaico [17]

Potência	4500 kVA
Dimensões externas	2700 X 2900 X 2900 mm
Tensão de Entrada/Saída	5-35 kV
Tensão de Saída/Entrada	0.4/0.23 kV

Para esta solução é necessário construir uma subestação associada ao parque fotovoltaico onde estejam transformadores elevadores de baixa para MT e uma proteção TPU S430 da Efacec. Assim, estabeleceu-se que para cada 15000 painéis fotovoltaicos, ou seja, a cada 3000 inversores MPPT está ligado um transformador ABB (tabela 2.4).

2.2.2 Painéis Fotovoltaicos de Telureto de Cádmi (CdTe)

O telureto de cádmio (CdTe) é um semicondutor de bandgap direto muito bem adaptado ao espectro solar com uma alta bandgap de $1,45 eV$ [34], ou seja, são células solares muito eficientes. Estas células possuem as menores emissões de gases de efeito estufa por kWh de eletricidade produzida [35]. Os módulos solares CdTe têm o menor custo por módulo comparado a qualquer tecnologia PV [36] e são a tecnologia PV Thin Film líder em termos de capacidade instalada a nível mundial.

Estes painéis solares estão comercialmente disponíveis como módulos incolores e sem moldura. A transparência varia de 10% a 50% e é inversamente proporcional à saída de potência e quando é aplicado ao vidro, as janelas podem ser de vidro simples ou duplo [37].

Esta tecnologia é uma boa opção para aplicar em ilhas, pois os painéis não irão ocupar uma área útil da ilha. As janelas das casas irão ser substituídas por estes painéis disponíveis em vidro simples ou duplo.

Os painéis solares CdTe escolhidos foram os que têm 30% de transparência (modelo PS-CT-56) [37], sendo que têm as seguintes especificações: $P_{mp}=56Wp$, $U_{mp}=87V$, $I_{mp}=0,64A$, $U_{oc}=116V$, $I_{sc}=0,68A$, $\eta=11,9\%$.

Para o dimensionamento destes painéis serão feitas as seguintes aproximações: Cada casa terá 16 painéis, sendo que dois painéis formam uma porta ou uma janela. O que dá uma média de 8 janelas ou portas por casa. Em cada casa vivem 4 habitantes, ou seja o número total de casas é:

$$N_{casas} = \frac{N_{habitantes}}{4} \quad (2.4)$$

A ligação dos painéis fotovoltaicos na casa, neste caso, será de 4 painéis em série, sendo que 4 conjuntos de painéis se encontram ligados em paralelo. Cada casa terá um controlador de carga e um inversor que estão especificados nas tabelas 2.3 e 2.2, respetivamente. Também terá um transformador de distribuição monofásico da ABB (especialmente projetado para alimentação de cargas residenciais de distribuição aérea) com uma potência de 5 kVA [17]. Assim, é possível que a energia produzida por estes painéis seja diretamente ligada à rede de distribuição de cada ilha.

2.3 Tecnologias para produção de energia eólica

Uma das informações mais importantes acerca de uma turbina é a sua curva de potência, que dá a potência elétrica extraída em função da velocidade do vento. Para velocidades superiores à velocidade de cut-in, a potência à saída aumenta, no entanto a partir da velocidade de vento nominal o gerador fornece a potência nominal (figura 2.9).

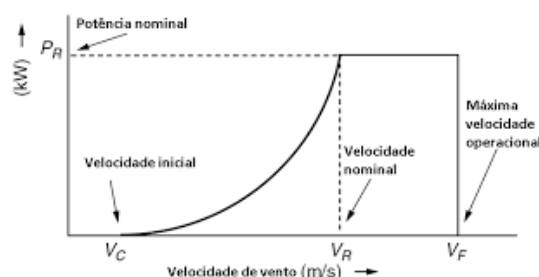


Figura 2.9: Curva característica da potência elétrica em função da velocidade do vento [8]

A curva de potência típica desta turbina tem uma velocidade de inicial de 3 m/s , uma velocidade nominal de 14 m/s e uma velocidade de corte (máxima velocidade operacional) de 25 m/s . Esta curva em conjunto com os resultados apresentados na figura 2.5, que representa a velocidade do vento por hora durante um ano num histograma, permitem que seja possível estimar a produção total mensal de vento durante um ano.

De modo a detetar sobretensões transitórias na rede elétrica e a desviar as correntes de surto é necessário implementar proteções, que estarão instaladas na central de baterias. O modelo escolhido para proteção do parque eólico foi o TPU D500 da Efacec, que protege linhas aéreas em redes de transmissão. [27]

Cada parque eólico tem uma subestação com transformadores e proteções, nas ilhas em que o parque eólico será acrescentado a respetiva subestação também será. Cada subestação terá um transformador também da ABB (tabela 2.5) por cada duas turbinas e uma cela de proteção igual à instalada na Central de Baterias, TPU D500 da Efacec. Quando o parque tem um dimensionamento com um número ímpar de turbinas fica apenas um transformador com potência de 2000 kVA ligado a essa turbina.

Tabela 2.5: Principais especificações do transformador instalado no parque eólico [17]

Potência	4000 kVA
Dimensões externas	$2230 \times 2680 \times 2650 \text{ mm}$
Tensão de Entrada/Saída	$5\text{-}35 \text{ kV}$
Tensão de Saída/Entrada	$0.4/0.23 \text{ kV}$

2.4 Armazenamento

O armazenamento vai consistir numa central com baterias ligadas à rede através de um conversor de potência. O controlo de carga e descarga das baterias é feito através da BMS que liga diretamente ao inversor AC/DC, figura 2.10. De modo a preservar a capacidade útil das baterias é importante evitar valores de descarga muito baixos ou valores de carga muito altos. Assim, para evitar uma degradação anormal das baterias, assim estabeleceu-se um SOC mínimo de 20% e um máximo de 80%.

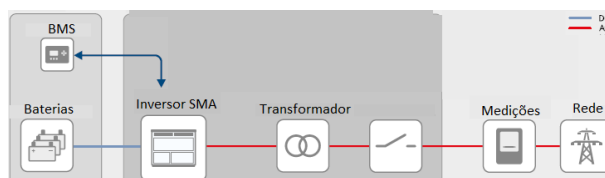


Figura 2.10: Esquema Unifilar pretendido para a central de baterias [9]

A instalação de uma central de baterias em cada ilha é muito importante, pois permite que haja uma

correção do fator de potência na rede. A energia reativa é parte integrante das empresas de contas de energia elétrica e constitui um peso financeiro significativo. O consumo de energia reativa pode, no entanto, ser excluído da conta, através da instalação de um sistema de correção do fator de potência. A correção do fator de potência é feita através da substituição do consumo de energia reativa da rede por meio da geração feita por baterias. A redução da energia reativa promove o funcionamento adequado da energia das instalações, maximizando a colheita de energia instalada. Também é necessário referir que o investimento nesse sistema pode ser recuperado através da energia reativa economizada.

Para dimensionar quantos bancos de baterias cada ilha precisa, foi determinado que cada ilha terá uma potência de baterias instalada igual à energia da ponta da ilha atingida em janeiro de 2019. [10] Assim, conhecendo a eficiência do inversor AC/DC e a capacidade de cada banco de baterias é possível obter o número de bancos necessário para cada ilha.

$$E_{bat} = \frac{E_{ponta}}{\eta_{inv}} \quad (2.5)$$

$$n_{bat} = \frac{E_{bat}}{E_{banco}} \quad (2.6)$$

Os bancos de baterias devem ser colocadas em paralelo para que a tensão de saída não exceda a tensão de operação dos inversores AC/DC. O modelo e marca escolhida para os inversores AC/DC foi o SCS 245 da SMA, devido a esta marca ser uma das que tem maior oferta no mercado e pelo facto de ter equipamentos de qualidade comprovada. As principais características deste inversor encontram-se na tabela 2.6. [9] Estipulou-se que um inversor está ligado a 40 bancos de baterias.

Tabela 2.6: Principais características do inversor AC/DC SCS 245

Eficiência η	98.6%
Faixa de frequência de energia AC	47 Hz - 53 Hz
Faixa de tensão V_{DC}	634 V - 1000 V
Faixa de tensão V_{AC}	347 V - 520 V
Potência nominal P_{DC}	2515 kW

A cada inversor AC/DC está ligado um transformador de média potência da ABB para a distribuição, com as seguintes especificações apresentadas na tabela 2.7. A alternativa escolhida para todos os transformadores selecionados para o dimensionamento foi a de óleo isolante em base vegetal. Devido às suas características principais, o facto de terem um maior ponto de combustão e a propriedade do líquido isolante possuir a característica de biodegradabilidade, após certa exposição no meio ambiente. [17]

Tabela 2.7: Principais especificações do transformador trifásico instalado na central das baterias [17]

Potência	3000 <i>kVA</i>
Dimensões externas	1730 X 2240 X 2030 <i>mm</i>
Tensão de Entrada/Saída	5-35 <i>kV</i>
Tensão de Saída/Entrada	0.4/23 <i>kV</i>

De modo a detectar sobretensões transitórias na rede elétrica e a desviar as correntes de surto é necessário implementar proteções ligadas aos transformadores da central de baterias. O modelo escolhido para proteção das instalações da central das baterias foi o TPU S430 da Efacec, que faz a proteção multifuncional de linha/alimentador, incluindo funções de corrente, tensão e frequência, juntamente com verificação sincronizada, localizador de falhas, falha do disjuntor, queda de carga e lógica definida pelo usuário. [27]

2.4.1 Baterias de Níquel Hidreto Metálico (NiMH)

O sucesso deste tipo de baterias deve-se à sua alta densidade energética e ao uso de metais não tóxicos, ou seja, os problemas ambientais são bastante reduzidos. Esta bateria também não possui “efeito de memória”, não tem necessidade de manutenção e tem uma rápida capacidade de recarga.

Relativamente às desvantagens, tem um risco elevado de ficar inutilizável devido a sobrecargas e à baixa capacidade de fornecer picos de corrente. Para além do que já foi mencionado, tem ainda uma taxa de auto-descarga relativamente elevada e repetidos ciclos de carga e descarga reduzem a vida útil da bateria, sendo que o desempenho degrada-se após 200 a 300 ciclos.

As características e valores gerais destas baterias estão apresentados na tabela 2.8 [38].

Tabela 2.8: Características e valores típicos das baterias de Níquel Hidreto Metálico.

Caraterísticas	Valores Típicos
Densidade de energia (<i>Wh/kg</i>)	75 - 150
Rendimento (%)	70 – 90
Capacidade cíclica (nº ciclos)	1000 – 1500
Tempo de vida útil (Anos)	8 – 13

2.4.2 Baterias de Iões de Lítio

A solução de armazenamento com baterias de iões de lítio apresenta algumas vantagens, nomeadamente o facto de estas apresentarem uma densidade de energia elevada e uma auto-descarga baixa. Para além disso não é afetada pelo “efeito memória” e tem uma manutenção baixa.

Relativamente às desvantagens a questão do preço pode-se tornar mais controversa dada a escassez do lítio. Também a instalação destas requer um circuito de proteção, de modo à bateria não estar

sobreaquecida o que leva a um risco de explosão ou incêndio. As características e valores gerais destas baterias estão apresentados na tabela 2.9. [38]

Tabela 2.9: Características e valores típicos das baterias de íões de Lítio.

Caraterísticas	Valores Típicos
Densidade de energia (<i>Wh/kg</i>)	350 – 600
Rendimento (%)	75 – 90
Capacidade cíclica (nº ciclos)	2500 – 4500
Tempo de vida útil (Anos)	12 – 20

A marca escolhida para o dimensionamento de baterias de íões de lítio foi a LG Chem, devido à sua garantia e benefícios que fornece aos seus clientes. Estas baterias também têm um método de produção que a põe como uma das baterias mais seguras do mercado. Até ao momento não há conhecimento de nenhuma bateria solar LG instalada com problemas de segurança. [39]

Assim, foi escolhido o banco de baterias R800 deste fabricante, sendo que a descrição deste banco encontra-se no anexo A.6 e as características nominais deste estão descritas na tabela 2.10. Este banco de baterias é composto por 14 módulos em série cada um com uma tensão de 51,8 *V* e com uma capacidade de 60 *Ah*. Cada módulo é composto por quatro braços de 14 células em série de 3,7 *V* e de 15,9 *Ah* cada. Em resumo, o banco de baterias contém quatro braços de células em paralelo, em que cada braço tem 196 células em série. [38]

Tabela 2.10: Características nominais do banco de baterias

Tensão Nominal	725 <i>V</i>
Capacidade Nominal	60 <i>Ah</i>
Corrente Nominal	27,67 <i>A</i>
Energia	44,96 <i>kWh</i>
C-rate	2

2.4.3 Comparação destes tipos de baterias

As tecnologias apresentadas são as mais utilizadas, pois são os sistemas mais maduros e tradicionais. Sendo que as baterias de íões de lítio estão a evoluir rapidamente, dado que a indústria de carros elétricos impulsiona o seu desenvolvimento. Sendo que são hoje a escolha mais popular para armazenamento de energia solar devido à garantia, design e preço.

Ambos conseguem ser aplicados em sistemas que requerem grande densidade de energia num curto espaço de tempo, sendo que para este caso as mais adequadas são as baterias de íões de lítio. Dado que estas têm um melhor desempenho embora sejam mais dispendiosas. No entanto, outras soluções, além de também serem dispendiosas têm um menor índice de eficiência na gestão energética, o que leva a que as baterias de íões de lítio se tornem na escolha mais fiável.

3

Dimensionamento

Conteúdo

3.1 Dimensionamento para cada ilha do arquipélago	30
---	----

Neste capítulo é feito um estudo de modo a avaliar as condições de implementação para as tecnologias mencionadas no capítulo anterior e assim cada tecnologia ser mais rentável durante um maior período de tempo. Também posteriormente será avaliado o custo de cada tecnologia, para assim reduzir o investimento económico total.

No geral, para cada ilha o objetivo será reduzir a dependência do armazenamento, para tal os aerogeradores e os painéis fotovoltaicos deverão ter cada um a capacidade para produzir aproximadamente metade da energia anual que ainda é produzida por energia fóssil. Devido ao carácter estocástico destas fontes e de forma a garantir a estabilidade na rede o sistema de armazenamento também será dimensionado de forma a ter elevada capacidade.

3.1 Dimensionamento para cada ilha do arquipélago

Como foi referido o dimensionamento da instalação fotovoltaica será feito de modo a produzir, sempre que possível, aproximadamente metade da produção que atualmente ainda é assegurada pelas centrais termoelétricas das ilhas. Ter-se-á em conta um acréscimo da potência total de painéis fotovoltaicos instalados, para a prevenir eventuais diminuições na produção devido a avarias, sujidade, ou mesmo para prevenir a imprevisibilidade do tempo, dado que a radiação solar é inconstante. Também é necessário ter em conta a zona de instalação dos painéis, pois como são ilhas é inevitável que estes não se encontrem numa zona costeira em que o sal da água do mar acabe por originar uma degradação mais intensa dos painéis.

A energia eólica será dimensionada de modo a produzir aproximadamente 50% da produção fóssil atual de cada ilha. É importante que a energia eólica e fotovoltaica estejam equilibradas, pois complementam-se nas diferentes estações do ano. Em todas as ilhas, à exceção das ilhas das Flores e do Corvo, que são as que a produção é menor, o dimensionamento será feito com turbinas eólicas com uma capacidade de 2 *MW*. Para esta capacidade a turbina escolhida foi o modelo da marca Vestas - V90, pois todos os anos constam no top do ranking dos maiores fabricantes de turbinas eólicas, sendo que em 2018 lideravam a tabela, segundo os dados presentes no site Portal Energia [40]. O dimensionamento para as ilhas do Corvo e das Flores será feito com turbinas com capacidade de 150 *kW*. Como atualmente a Vestas apenas dispõem de turbinas eólicas com potências entre 850 *kW* e 7 *MW*, o modelo selecionado para a turbina com capacidade de 150 *kW* foi o *GARBÍ 150/28* da *Electria Wind* [41].

Este dimensionamento terá em consideração os dados climáticos apresentados no capítulo anterior. Sendo que cada ilha será avaliada de acordo com as suas necessidades de produção energética. Estes dados serão avaliados tanto a nível de produção eólica como a nível de produção fotovoltaica.

3.1.1 Santa Maria

Segundo os dados mais recentes, sabe-se que a produção energética anual no passado ano de 2018 foi de 20,645 *GWh* [2]. Ao verificar os dados representados na figura A.1 referentes a janeiro de 2019, conclui-se que aproximadamente 76% da produção de energia ainda é assegurada por fontes de energia fóssil. Ou seja ainda falta assegurar a produção de 15,69 *GWh* por energias renováveis, assim o dimensionamento feito terá por base este valor.

3.1.1.A Produção Fotovoltaica

Painéis Fotovoltaicos Policristalinos

Através do Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica [16], foi possível simular a produção fotovoltaica com células de silício cristalino na ilha de Santa Maria. O dimensionamento escolhido foi de um parque fotovoltaico com 8,4 *MW* de potência nominal. Na tabela 3.1 é possível verificar os detalhes do parque fotovoltaico. Através da posição escolhida mencionada no anexo A.3 (figura A.25) e através da irradiância representada na figura A.9, foi possível chegar à conclusão de qual seria o ângulo de inclinação ótimo e obter estimativas de produção anual de energia fotovoltaica apresentadas com maior detalhe na figura 3.1. Para além disso ainda foram consideradas perdas, sendo consideradas um total de 12,8% (perdas entre o que se produz e o que é injetado para a rede, devido a perdas nos cabos, conversores, sujidade nos painéis, etc).

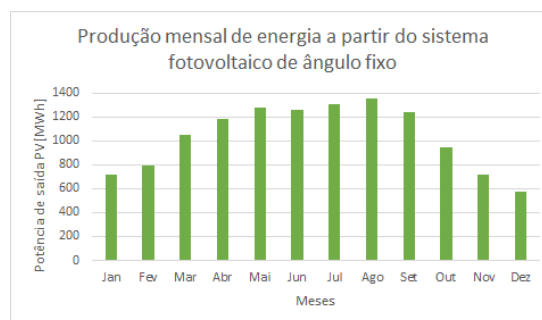


Figura 3.1: Produção média mensal dos painéis fotovoltaicos policristalinos durante um ano em Santa Maria

Tabela 3.1: Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos policristalinos

Nº de painéis	30000	
PV instalados (P_{max})	8400 kWp	
Perdas do sistema	10%	
Ângulo de inclinação	30°(ótimo)	
Ângulo de azimute	6°(ótimo)	
Produção anual de energia fotovoltaica	12400 MWh	
Irradiação no plano anual	1700 kWh/m^2	
Perdas devidas a	Ângulo de incidência	-2,9%
	Temp. e baixa irradiância	-0,2%
Perdas Totais	-12,8%	

Painéis Fotovoltaicos de Telureto de Cádmio (CdTe)

Através do Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica [16], foi possível simular a produção fotovoltaica com a tecnologia de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio na ilha de Santa Maria. Segundo as Estimativas Provisórias Anuais da População Residente - Última atualização destes dados: 15 de junho de 2018 (INE), a ilha de Santa Maria tem 5652 habitantes. Assim e dado as aproximações para o dimensionamento desta tecnologia, referidas anteriormente através da equação 2.4, conclui-se que a ilha tem aproximadamente 1413 casas. Sendo que, para este caso a potência nominal máxima instalada é de 1266,05 kW . Na tabela 3.2 é possível verificar os detalhes deste dimensionamento. Dado que estes painéis irão substituir as janelas das casas, o ângulo de inclinação será de 90°, não sendo o ângulo ótimo de produção. Foi possível obter estimativas da produção anual de energia fotovoltaica apresentadas com maior detalhe na figura 3.2.

Tabela 3.2: Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio

Nº de painéis	22608
PV instalados (P_{max})	1266,05 kW
Ângulo de inclinação	90°
Produção anual de energia fotovoltaica	1090 MWh

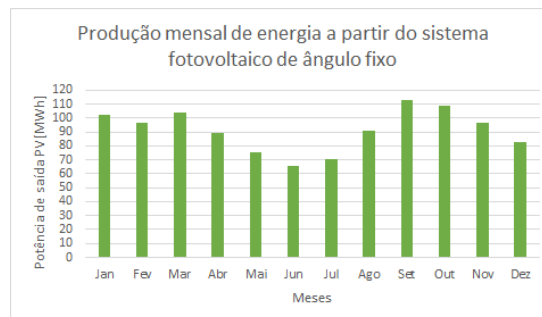


Figura 3.2: Produção média mensal de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio durante um ano em Santa Maria

3.1.1.B Produção Eólica

Como foi mencionado anteriormente os ventos predominantes ao longo do ano na ilha vêm do norte, tal como está representado na figura 1.4. Assim as turbinas para o dimensionamento sugerido devem estar segundo esta direção. Sendo que a instalação terá uma potência nominal de 4 MW para produção eólica, composto por 2 turbinas, cada uma com potência nominal de 2 MW.

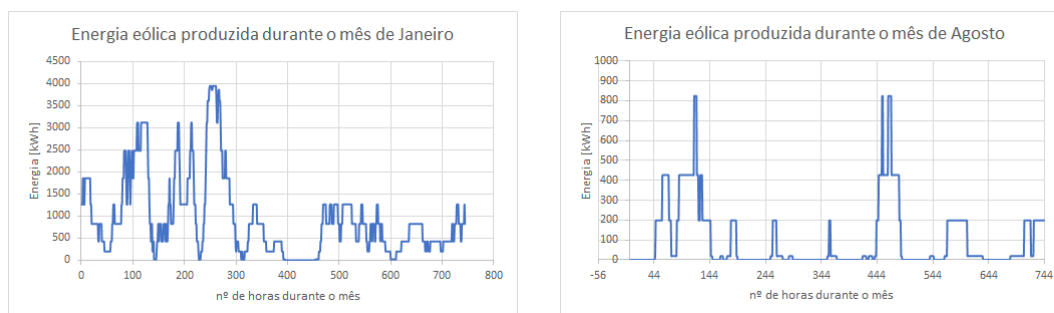


Figura 3.3: Produção de energia eólica no mês de janeiro na ilha de Santa Maria

Figura 3.4: Produção de energia eólica no mês de agosto na ilha de Santa Maria

Os resultados para o mês de janeiro as duas turbinas produzem 705,94 MW, conforme apresentado na figura 3.3. No mês de agosto, segundo a curva de produção horária do vento representada na figura 3.4, conclui-se que a produção total é de aproximadamente 71,94 MW. Na figura 3.5 é possível observar a produção anual das 2 turbinas eólicas, sendo que o mês de agosto tem uma produção muito baixa e o mês de novembro é o que apresenta uma produção mais elevada.

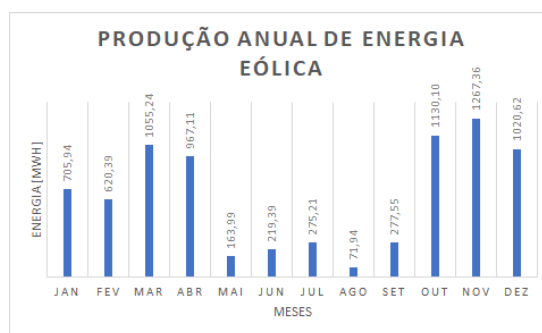


Figura 3.5: Produção anual de energia eólica na ilha de Santa Maria

3.1.1.C Produção Geral

Resumindo, é importante visualizar todos os dados de consumo da ilha durante o ano de 2018, de modo a comparar com as estimativas de energia total produzida pelas fontes de energia renováveis que foram dimensionadas anteriormente. Nomeadamente fontes de energia eólica e de energia fotovoltaica com as células de silício cristalino, pois é a opção mais viável. Também é necessário adicionar a

estas estimativas o que foi efetivamente produzido durante 2018 pelas fontes de energia renovável já instaladas. Na figura 3.6 verifica-se a azul o consumo total da ilha durante os 12 meses do passado ano de 2018 e a laranja a produção total das diversas fontes de energia renovável, o que foi efetivamente produzido por fontes já instaladas e as estimativas do dimensionamento sugerido.

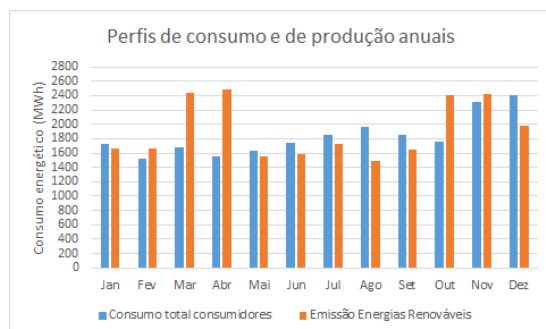


Figura 3.6: Estimativas de emissão total de energias renováveis e consumo mensal relativo ao ano de 2018 em Santa Maria

Observando o gráfico 3.6, conclui-se que durante os meses de janeiro, maio, junho, junho, agosto, setembro e dezembro as fontes de energia renovável não foram capazes de produzir toda a energia que os consumidores precisam. Assim, nestes meses é necessário verificar se o sistema de armazenamento colmata as falhas de produção, caso não consiga será necessário utilizar as fontes de energia fóssil disponíveis na ilha. Nos outros meses, a produção por fontes renováveis é maior do que o consumidor precisa, portanto, será necessário armazenar essa energia em baterias.

3.1.1.D Armazenamento

Baterias de Iões de Lítio

Segundo os registos presentes no documento [10] relativos ao mês de janeiro de 2019, verifica-se que a ponta máxima de Santa Maria registada foi de 3351 *kW*. Assim, segundo as fórmulas 2.5 e 2.6 conclui-se que esta ilha precisa de 78 bancos de baterias R800 da LG Chem.

3.1.2 São Miguel

Segundo os dados mais recentes, sabe-se que a produção energética anual no passado ano de 2018 foi de 436,9 *GWh* [2]. Ao verificar os dados representados na figura 2.4 referentes a janeiro de 2019, conclui-se que aproximadamente 48% da produção de energia ainda é assegurada por fontes de energia fóssil. Ou seja ainda falta assegurar a produção de 210 *GWh* por energias renováveis, assim o dimensionamento feito terá por base este valor.

3.1.2.A Produção Fotovoltaica

Painéis Fotovoltaicos Policristalinos

Através do Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica [16], foi possível simular a produção fotovoltaica com células de silício cristalino na ilha de São Miguel. O dimensionamento escolhido foi de um parque fotovoltaico com 25 MW de potência nominal. Na tabela 3.3 é possível verificar os detalhes do parque fotovoltaico. Através da posição escolhida mencionada anteriormente na figura 2.3 e através da irradiância representada na figura 2.6, foi possível chegar à conclusão de qual seria o ângulo de inclinação ótimo e obter estimativas de produção anual de energia fotovoltaica apresentadas com maior detalhe na figura 3.7. Para além disso ainda foram consideradas perdas, sendo consideradas um total de 13,1% (perdas entre o que se produz e o que é injetado para a rede, devido a perdas nos cabos, conversores, sujidade nos painéis, etc).

Tabela 3.3: Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos policristalinos

Nº de painéis	100000	
PV instalados (P_{max})	25000 kWp	
Perdas do sistema	10%	
Ângulo de inclinação	30°(ótimo)	
Ângulo de azimute	3°(ótimo)	
Produção anual de energia fotovoltaica	34200 MWh	
Irradiação no plano anual	1580 kWh/m ²	
Perdas devidas a	Ângulo de incidência	-3%
	Temp. e baixa irradiância	-0,4%
Perdas Totais	-13,1%	

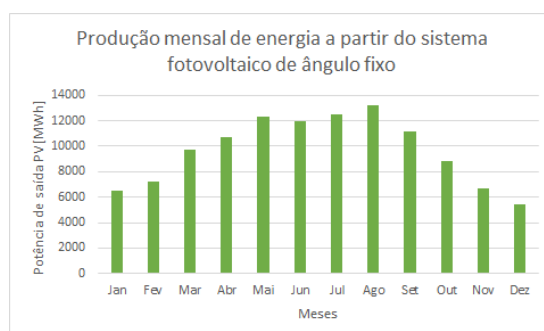


Figura 3.7: Produção média mensal dos painéis fotovoltaicos policristalinos durante um ano em São Miguel

Painéis Fotovoltaicos de Telureto de Cádmio (CdTe)

Através do Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica [16], foi possível simular a produção fotovoltaica com a tecnologia de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio na ilha de São Miguel. Segundo as Estimativas Provisórias Anuais da População Residente - Última atualização destes dados: 15 de junho de 2018 (INE), a ilha de São Miguel tem 138213 habitantes. Assim e dado as aproximações

para o dimensionamento desta tecnologia, referidas anteriormente através da equação 2.4, conclui-se que a ilha tem aproximadamente 34553 casas. Sendo que, para este caso a potência nominal máxima instalada é de 30959,49 kW . Na tabela 3.4 é possível verificar os detalhes deste dimensionamento. Dado que estes painéis irão substituir as janelas das casas, o ângulo de inclinação será de 90° , não sendo o ângulo ótimo de produção. Foi possível obter estimativas da produção anual de energia fotovoltaica apresentadas com maior detalhe na figura 3.8.

Tabela 3.4: Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio

Nº de painéis	552848
PV instalados (P_{max})	30959,49 kW
Ângulo de inclinação	90°
Produção anual de energia fotovoltaica	25500 MWh

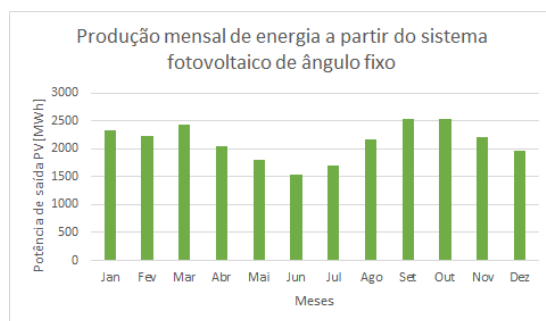


Figura 3.8: Produção média mensal de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio durante um ano em São Miguel

3.1.2.B Produção Eólica

Como foi mencionado anteriormente os ventos predominantes ao longo do ano na ilha vêm de sudoeste, tal como está representado na figura 1.5. Assim as turbinas para o dimensionamento sugerido devem estar segundo esta direção. Sendo que a instalação terá uma potência nominal de 90 MW para produção eólica, composto por 45 turbinas, cada uma com potência nominal de 2 MW .

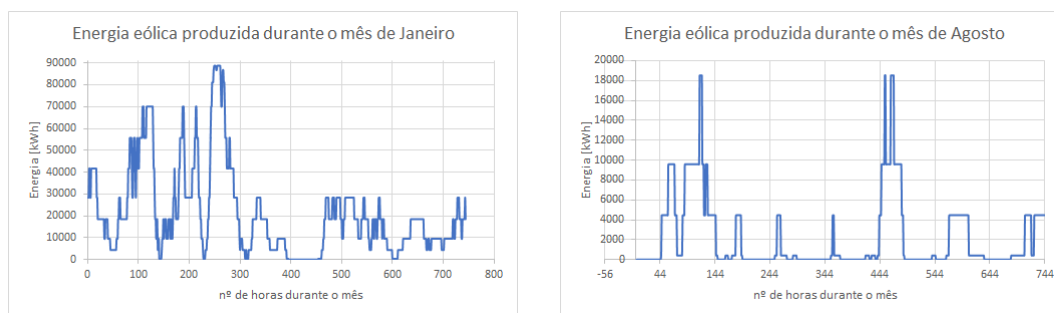


Figura 3.9: Produção de energia eólica no mês de janeiro na ilha de São Miguel **Figura 3.10:** Produção de energia eólica no mês de agosto na ilha de São Miguel

Os resultados para o mês de janeiro foram de 352,97 MW por turbina eólica, conforme apresentado na figura 3.9, portanto, para 45 turbinas a produção total em janeiro é de aproximadamente 15883,65 MW. Para agosto, a curva de produção horária do vento é representada na figura 3.10, portanto, para este dimensionamento, a produção total do mês é de 1618,62 MW. Na figura 3.11 é possível observar a produção anual das 45 turbinas eólicas, sendo que o mês de agosto tem uma produção muito baixa e o mês de novembro é o que apresenta uma produção mais elevada.

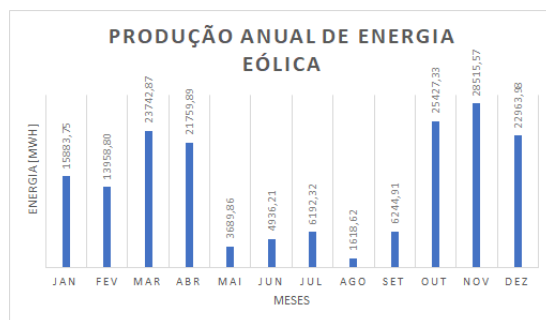


Figura 3.11: Produção anual de energia eólica na ilha de São Miguel

3.1.2.C Produção Geral

Resumindo, é importante visualizar todos os dados de consumo da ilha durante o ano de 2018, de modo a comparar com as estimativas de energia total produzida pelas fontes de energia renováveis que foram dimensionadas anteriormente. Nomeadamente fontes de energia eólica e de energia fotovoltaica com as células de silício cristalino, pois é a opção mais viável. Também é necessário adicionar a estas estimativas o que foi efetivamente produzido durante 2018 pelas fontes de energia renovável já instaladas. Na figura 3.12 verifica-se a azul o consumo total da ilha durante os 12 meses do passado ano de 2018 e a laranja a produção total das diversas fontes de energia renovável, o que foi efetivamente produzido por fontes já instaladas e as estimativas do dimensionamento sugerido.

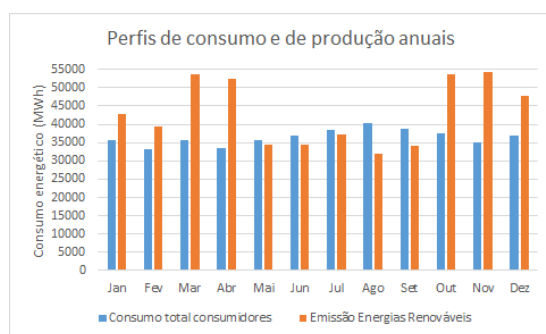


Figura 3.12: Estimativas de emissão total de energias renováveis e consumo mensal relativo ao ano de 2018 em São Miguel

Observando o gráfico 3.12, conclui-se que durante os meses de maio, junho, junho, agosto e setem-

bro as fontes de energia renovável não foram capazes de produzir toda a energia que os consumidores precisam. Assim, nestes meses é necessário verificar se o sistema de armazenamento colmata as falhas de produção, caso não consiga será necessário utilizar as fontes de energia fóssil disponíveis na ilha. Nos outros meses, a produção por fontes renováveis é maior do que o consumidor precisa, portanto, será necessário armazenar essa energia em baterias.

3.1.2.D Armazenamento

Baterias de Iões de Lítio

Segundo os registos presentes no documento [10] relativos ao mês de janeiro de 2019, verifica-se que a ponta máxima de São Miguel registada foi de 67763 *kW*. Assim, segundo as fórmulas 2.5 e 2.6 conclui-se que esta ilha precisa de 1573 bancos de baterias R800 da LG Chem.

3.1.3 Terceira

Segundo os dados mais recentes, sabe-se que a produção energética anual no passado ano de 2018 foi de 190,76 *GWh* [2]. Ao verificar os dados representados na figura A.2 referentes a janeiro de 2019, conclui-se que aproximadamente 59% da produção de energia ainda é assegurada por fontes de energia fóssil. Ou seja ainda falta assegurar a produção de 113 *GWh* por energias renováveis, assim o dimensionamento feito terá por base este valor.

3.1.3.A Produção Fotovoltaica

Painéis Fotovoltaicos Policristalinos

Através do Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica [16], foi possível simular a produção fotovoltaica com células de silício cristalino na ilha Terceira. O dimensionamento escolhido foi de um parque fotovoltaico com 56 *MW* de potência nominal. Na tabela 3.5 é possível verificar os detalhes do parque fotovoltaico. Através da posição escolhida mencionada no anexo A.3 (figura A.26) e através da irradiância representada na figura A.11, foi possível chegar à conclusão de qual seria o ângulo de inclinação ótimo e obter estimativas de produção anual de energia fotovoltaica apresentadas com maior detalhe na figura 3.13. Para além disso ainda foram consideradas perdas, sendo consideradas um total de 12,8% (perdas entre o que se produz e o que é injetado para a rede, devido a perdas nos cabos, conversores, sujidade nos painéis, etc).

Tabela 3.5: Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos policristalinos

Nº de painéis	200000	
PV instalados (P_{max})	56000 kW_p	
Perdas do sistema	10%	
Ângulo de inclinação	32°(ótimo)	
Ângulo de azimute	4°(ótimo)	
Produção anual de energia fotovoltaica	77600 MWh	
Irradiação no plano anual	1590 kWh/m^2	
Perdas devidas a	Ângulo de incidência	-2,9%
	Temp. e baixa irradiância	-0,2%
Perdas Totais	-12,8%	

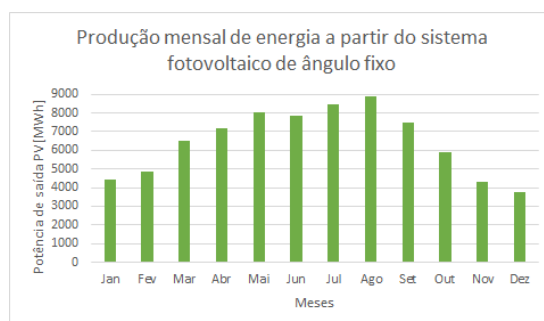


Figura 3.13: Produção média mensal do painéis fotovoltaicos policristalinos durante um ano na Terceira

Painéis Fotovoltaicos de Telureto de Cádmio (CdTe)

Através do Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica [16], foi possível simular a produção fotovoltaica com a tecnologia de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio na ilha Terceira. Segundo as Estimativas Provisórias Anuais da População Residente - Última atualização destes dados: 15 de junho de 2018 (INE), a ilha Terceira tem 56141 habitantes. Assim e dado as aproximações para o dimensionamento desta tecnologia, referidas anteriormente através da equação 2.4, conclui-se que a ilha tem aproximadamente 14035 casas. Sendo que, para este caso a potência nominal máxima instalada é de 12575,36 kW . Na tabela 3.6 é possível verificar os detalhes deste dimensionamento. Dado que estes painéis irão substituir as janelas das casas, o ângulo de inclinação será de 90°, não sendo o ângulo ótimo de produção. Foi possível obter estimativas da produção anual de energia fotovoltaica apresentadas com maior detalhe na figura 3.14.

Tabela 3.6: Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio

Nº de painéis	224560
PV instalados (P_{max})	12575,36 kW
Ângulo de inclinação	90°
Produção anual de energia fotovoltaica	9250 MWh

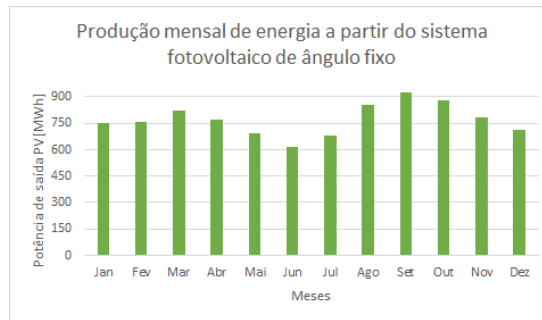


Figura 3.14: Produção média mensal de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio durante um ano na Terceira

3.1.3.B Produção Eólica

Como foi mencionado anteriormente os ventos predominantes ao longo do ano na ilha vêm de sudoeste, tal como está representado na figura 1.6. Assim as turbinas para o dimensionamento sugerido devem estar segundo esta direção. Sendo que a instalação terá uma potência nominal de 28 MW para produção eólica, composto por 14 turbinas, cada uma com potência nominal de 2 MW.

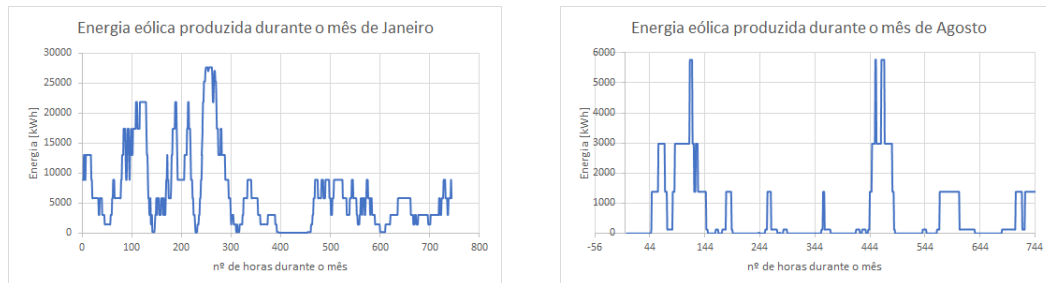


Figura 3.15: Produção de energia eólica no mês de janeiro na ilha Terceira

Figura 3.16: Produção de energia eólica no mês de agosto na ilha Terceira

Fazendo o dimensionamento pelos dados obtidos com a velocidade do vento por hora durante um ano, obtemos por turbina eólica de 2 MW uma produção total de aproximadamente 4 GW. Os resultados totais obtidos pelas 14 turbinas durante o mês de janeiro foram de 4941,61 MW, conforme apresentado na figura 3.15. Para agosto, a curva de produção horária do vento é representada na figura 3.16, sendo que para este dimensionamento, a produção total do mês é de aproximadamente 503,57 MW. Na figura 3.17 é possível observar a produção anual das 14 turbinas eólicas, sendo que o mês de agosto tem uma produção muito baixa e o mês de novembro é o que apresenta uma produção mais elevada.

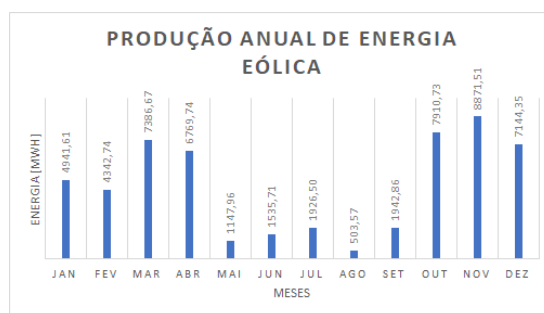


Figura 3.17: Produção anual de energia eólica na ilha Terceira

3.1.3.C Produção Geral

Resumindo, é importante visualizar todos os dados de consumo da ilha durante o ano de 2018, de modo a comparar com as estimativas de energia total produzida pelas fontes de energia renováveis que foram dimensionadas anteriormente. Nomeadamente fontes de energia eólica e de energia fotovoltaica com as células de silício cristalino, pois é a opção mais viável. Também é necessário adicionar a estas estimativas o que foi efetivamente produzido durante 2018 pelas fontes de energia renovável já instaladas. Na figura 3.18 verifica-se a azul o consumo total da ilha durante os 12 meses do passado ano de 2018 e a laranja a produção total das diversas fontes de energia renovável, o que foi efetivamente produzido por fontes já instaladas e as estimativas do dimensionamento sugerido.

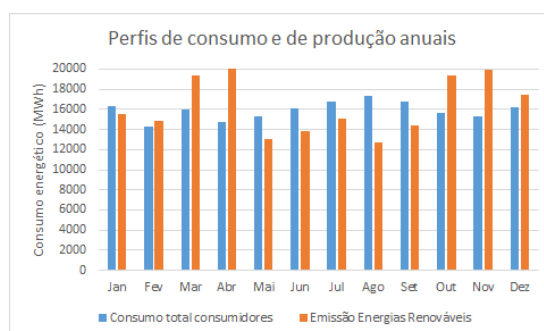


Figura 3.18: Estimativas de emissão total de energias renováveis e consumo mensal relativo ao ano de 2018 na Terceira

Observando o gráfico 3.18, conclui-se que durante os meses de janeiro, maio, junho, junho, agosto e setembro as fontes de energia renovável não foram capazes de produzir toda a energia que os consumidores precisam. Assim, nestes meses é necessário verificar se o sistema de armazenamento colmata as falhas de produção, caso não consiga será necessário utilizar as fontes de energia fóssil disponíveis na ilha. Nos outros meses, a produção por fontes renováveis é maior do que o consumidor precisa, portanto, será necessário armazenar essa energia em baterias.

3.1.3.D Armazenamento

Baterias de Iões de Lítio

Segundo os registos presentes no documento [10] relativos ao mês de janeiro de 2019, verifica-se que a ponta máxima da Terceira registada foi de 29724 *kW*. Assim, segundo as fórmulas 2.5 e 2.6 conclui-se que esta ilha precisa de 690 bancos de baterias R800 da LG Chem.

3.1.4 Graciosa

Segundo os dados mais recentes, sabe-se que a produção energética anual no passado ano de 2018 foi de 13439,812 *MWh* [2]. Ao verificar os dados representados na figura A.3 referentes a janeiro de 2019, conclui-se que 100% da produção energética ainda é assegurada por fontes de energia fóssil. No entanto, no mês de agosto de 2019 foi inaugurado o projeto "Gracióllica" explicado no capítulo 1, este vai permitir que 65% da energia consumida pela ilha seja assegurada por um sistema de energia híbrido implementado. Assim o dimensionamento para a Graciosa terá por base os 35% que ainda não são assegurados por energias renováveis. Como este projeto já implementou um parque eólico com capacidade de 4,5 *MW*, o dimensionamento será feito só com energia fotovoltaica. Relativamente às baterias, atualmente já está implementado um sistema com capacidade de 2,6 *MWh*, que cobre a ponta da ilha que em janeiro de 2019 foi de 2,27 *MW* [10].

3.1.4.A Produção Fotovoltaica

Painéis Fotovoltaicos Policristalinos

Através do Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica [16], foi possível simular a produção fotovoltaica com células de silício cristalino na ilha Graciosa. O dimensionamento escolhido foi de um parque fotovoltaico com 3,36 *MW* de potência nominal. Na tabela 3.3 é possível verificar os detalhes do parque fotovoltaico. Através da posição atual do sistema híbrido implementado (figura A.27) e através da irradiância representada na figura A.13, foi possível chegar à conclusão de qual seria o ângulo de inclinação ótimo e obter estimativas de produção anual de energia fotovoltaica apresentadas com maior detalhe na figura 3.19. Para além disso ainda foram consideradas perdas, sendo consideradas um total de 12,6% (perdas entre o que se produz e o que é injetado para a rede, devido a perdas nos cabos, conversores, sujidade nos painéis, etc).

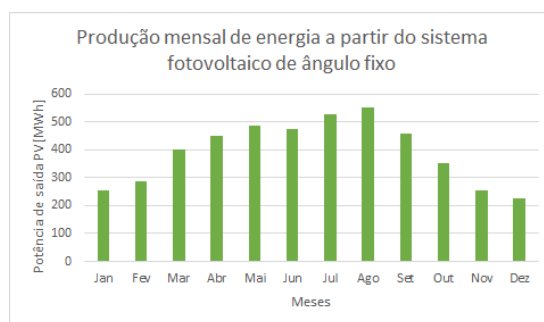


Figura 3.19: Produção média mensal dos painéis fotovoltaicos policristalinos durante um ano na Graciosa

Tabela 3.7: Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos policristalinos

Nº de painéis	12000	
PV instalados (P_{max})	3360 kW _p	
Perdas do sistema	10%	
Ângulo de inclinação	32°(ótimo)	
Ângulo de azimute	5°(ótimo)	
Produção anual de energia fotovoltaica	4720 MWh	
Irradiação no plano anual	1610 kWh/m ²	
Perdas devidas a	Ângulo de incidência	-2,8%
	Temp. e baixa irradiância	-0,1%
Perdas Totais	-12,6%	

Painéis Fotovoltaicos de Telureto de Cádmio (CdTe)

Através do Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica [16], foi possível simular a produção fotovoltaica com a tecnologia de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio na ilha Graciosa. Segundo as Estimativas Provisórias Anuais da População Residente - Última atualização destes dados: 15 de junho de 2018 (INE), a ilha Graciosa tem 4339 habitantes. Assim e dado as aproximações para o dimensionamento desta tecnologia, referidas anteriormente através da equação 2.4, conclui-se que a ilha tem aproximadamente 1084 casas. Sendo que, para este caso a potência nominal máxima instalada é de 971,2 kW. Na tabela 3.8 é possível verificar os detalhes deste dimensionamento. Dado que estes painéis irão substituir as janelas das casas, o ângulo de inclinação será de 90°, não sendo o ângulo ótimo de produção. Foi possível obter estimativas da produção anual de energia fotovoltaica apresentadas com maior detalhe na figura 3.20.

Tabela 3.8: Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio

Nº de painéis	17344
PV instalados (P_{max})	971,27 kW
Ângulo de inclinação	90°
Produção anual de energia fotovoltaica	808 MWh

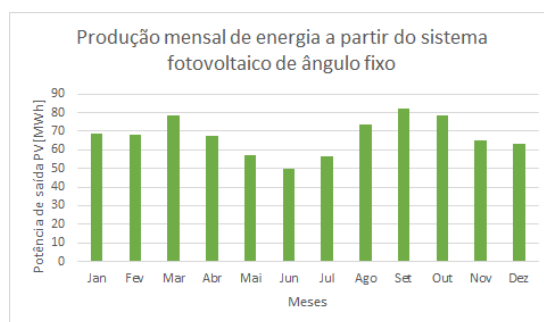


Figura 3.20: Produção média mensal de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio durante um ano na Graciosa

3.1.4.B Produção Geral

Resumindo, é importante visualizar todos os dados de consumo da ilha durante o ano de 2018, de modo a comparar com as estimativas de energia total produzida pelas fontes de energia renováveis que foram dimensionadas anteriormente. Nomeadamente fontes de energia eólica e de energia fotovoltaica com as células de silício cristalino, pois é a opção mais viável. Também é necessário adicionar a estas estimativas o que foi efetivamente produzido durante 2018 pelas fontes de energia renovável já instaladas.

Dado que a ilha Graciosa ainda era 100% fóssil no passado ano de 2018, foi feita uma estimativa de uma produção mensal do sistema híbrido atual de 65%. Excetuando os meses de agosto e de setembro que foram utilizados os dados reais de produção do sistema do corrente ano de 2019. [5] A produção do sistema nestes meses encontra-se mais detalhada na tabela 3.9.

Mês	Produção Eólica	Produção Fotovoltaica	100% Renovável
agosto	535,82 <i>MWh</i>	97,76 <i>MWh</i>	8 dias
setembro	501,90 <i>MWh</i>	86,25 <i>MWh</i>	7,9 dias

Tabela 3.9: Dados de produção do sistema durante o mês de setembro 2019 [5]

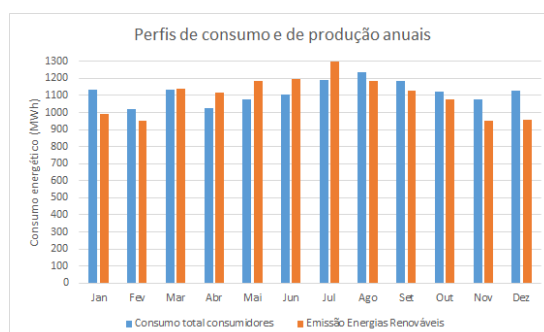


Figura 3.21: Estimativas de emissão total de energias renováveis e consumo mensal na Graciosa

Na figura 3.19 verifica-se a azul o consumo total da ilha e a laranja a produção total das diversas

fontes de energia renovável, o que foi efetivamente produzido por fontes já instaladas e as estimativas do dimensionamento sugerido.

Observando o gráfico 3.19, conclui-se que durante os meses de janeiro, fevereiro, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro as fontes de energia renovável não foram capazes de produzir toda a energia que os consumidores precisam. Assim, nestes meses é necessário verificar se o sistema de armazenamento colmata as falhas de produção, caso não consiga será necessário utilizar as fontes de energia fóssil disponíveis na ilha. Nos outros meses, a produção por fontes renováveis é maior do que o consumidor precisa, portanto, será necessário armazenar essa energia em baterias.

3.1.5 São Jorge

Segundo os dados mais recentes, sabe-se que a produção energética anual no passado ano de 2018 foi de 28901,97 *MWh* [2]. Ao verificar os dados representados na figura A.4 referentes a janeiro de 2019 [10], conclui-se que aproximadamente 89% da produção de energia ainda é assegurada por fontes de energia fóssil. Ou seja ainda falta assegurar a produção de 25722,75 *MWh* por energias renováveis, assim o dimensionamento feito terá por base este valor.

3.1.5.A Produção Fotovoltaica

Painéis Fotovoltaicos Policristalinos

Através do Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica [16], foi possível simular a produção fotovoltaica com células de silício cristalino na ilha de São Jorge. O dimensionamento escolhido foi de um parque fotovoltaico com 11,76 *MW* de potência nominal. Na tabela 3.10 é possível verificar os detalhes do parque fotovoltaico. Através da posição escolhida mencionada no anexo A.3 (figura A.28) e através da irradiância representada na figura A.15, foi possível chegar à conclusão de qual seria o ângulo de inclinação ótimo e obter estimativas de produção anual de energia fotovoltaica apresentadas com maior detalhe na figura 3.22.

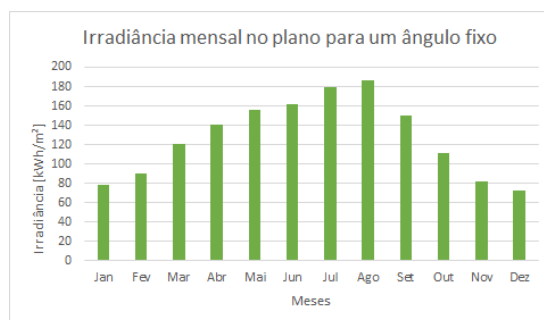


Figura 3.22: Produção média mensal dos painéis fotovoltaicos policristalinos durante um ano em São Jorge

Tabela 3.10: Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos policristalinos

Nº de painéis	42000	
PV instalados (P_{max})	11760 kW_p	
Perdas do sistema	10%	
Ângulo de inclinação	30°(ótimo)	
Ângulo de azimute	12°(ótimo)	
Produção anual de energia fotovoltaica	15500 MWh	
Irradiação no plano anual	1520 kWh/m^2	
Perdas devidas a	Ângulo de incidência	-2,8%
	Temp. e baixa irradiância	-0,3%
Perdas Totais	-12,8%	

Painéis Fotovoltaicos de Telureto de Cádmio (CdTe)

Através do Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica [16], foi possível simular a produção fotovoltaica com a tecnologia de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio na ilha de São Jorge. Segundo as Estimativas Provisórias Anuais da População Residente - Última atualização destes dados: 15 de junho de 2018 (INE), a ilha de São Jorge tem 8556 habitantes. Assim e dado as aproximações para o dimensionamento desta tecnologia, referidas anteriormente através da equação 2.4, conclui-se que a ilha tem aproximadamente 2139 casas. Sendo que, para este caso a potência nominal máxima instalada é de 1916,54 kW . Na tabela 3.11 é possível verificar os detalhes deste dimensionamento. Dado que estes painéis irão substituir as janelas das casas, o ângulo de inclinação será de 90°, não sendo o ângulo ótimo de produção. Foi possível obter estimativas da produção anual de energia fotovoltaica apresentadas com maior detalhe na figura 3.23.

Tabela 3.11: Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio

Nº de painéis	34224
PV instalados (P_{max})	1916,54 kW
Ângulo de inclinação	90°
Produção anual de energia fotovoltaica	1490 MWh

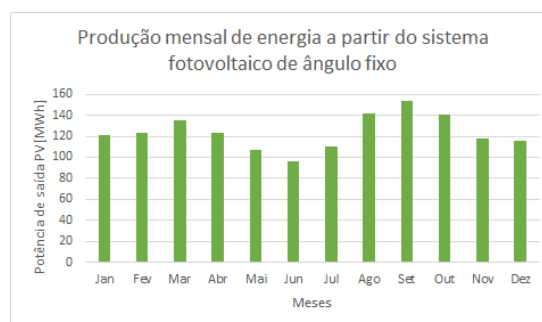


Figura 3.23: Produção média mensal de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio durante um ano em São Jorge

3.1.5.B Produção Eólica

Como foi mencionado anteriormente os ventos predominantes ao longo do ano na ilha vêm de sudoeste, tal como está representado na figura 1.9. Assim, as turbinas para o dimensionamento sugerido devem estar segundo esta direção. Sendo que a instalação terá uma potência nominal de 6 MW para produção eólica, composto por 3 turbinas, cada uma com potência nominal de 2 MW.

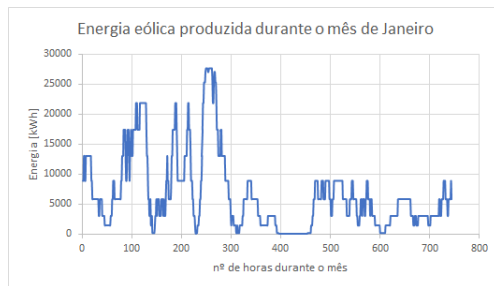


Figura 3.24: Produção de energia eólica no mês de janeiro em São Jorge

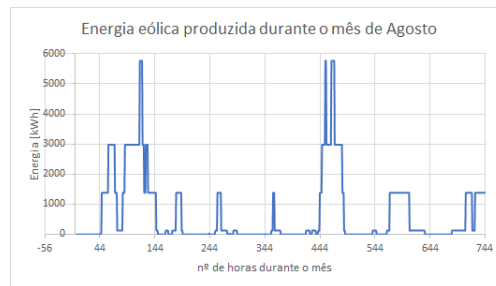


Figura 3.25: Produção de energia eólica no mês de agosto em São Jorge

Os resultados totais obtidos pelas 3 turbinas durante o mês de janeiro foram de 1058,92 MW, conforme apresentado na figura 3.24. Para agosto, a curva de produção horária do vento é representada na figura 3.25, sendo que para este dimensionamento, a produção total do mês é de aproximadamente 107,91 MW. Na figura 3.26 é possível observar a produção anual das 3 turbinas eólicas, sendo que o mês de agosto tem uma produção muito baixa e o mês de novembro é o que apresenta uma produção mais elevada.

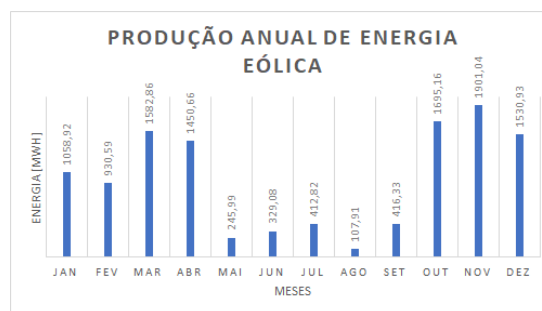


Figura 3.26: Produção anual de energia eólica em São Jorge

3.1.5.C Produção Geral

Resumindo, é importante visualizar todos os dados de consumo da ilha durante o ano de 2018, de modo a comparar com as estimativas de energia total produzida pelas fontes de energia renováveis que foram dimensionadas anteriormente. Nomeadamente fontes de energia eólica e de energia fotovoltaica com as células de silício cristalino, pois é a opção mais viável. Também é necessário adicionar a

estas estimativas o que foi efetivamente produzido durante 2018 pelas fontes de energia renovável já instaladas. Na figura 3.27 verifica-se a azul o consumo total da ilha durante os 12 meses do passado ano de 2018 e a laranja a produção total das diversas fontes de energia renovável, o que foi efetivamente produzido por fontes já instaladas e as estimativas do dimensionamento sugerido.

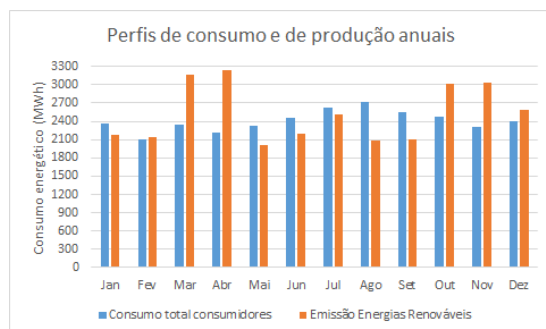


Figura 3.27: Estimativas de emissão total de energias renováveis e consumo mensal relativo ao ano de 2018 em São Jorge

Observando o gráfico 3.27, conclui-se que durante os meses de janeiro, maio, junho, julho, agosto e setembro as fontes de energia renovável não foram capazes de produzir toda a energia que os consumidores precisam. Assim, nestes meses é necessário verificar se o sistema de armazenamento colmata as falhas de produção, caso não consiga será necessário utilizar as fontes de energia fóssil disponíveis na ilha. Nos outros meses, a produção por fontes renováveis é maior do que o consumidor precisa, portanto, será necessário armazenar essa energia em baterias.

3.1.5.D Armazenamento

Baterias de Iões de Lítio

Segundo os registos presentes no documento [10] relativos ao mês de janeiro de 2019, verifica-se que a ponta máxima de São Jorge registada foi de 4715 kW. Assim, segundo as fórmulas 2.5 e 2.6 conclui-se que esta ilha precisa de 109 bancos de baterias R800 da LG Chem.

3.1.6 Pico

Segundo os dados mais recentes, sabe-se que a produção energética anual no passado ano de 2018 foi de 44871,52 MWh [2]. Ao verificar os dados representados na figura A.5 referentes a janeiro de 2019 [10], conclui-se que aproximadamente 85% da produção de energia ainda é assegurada por fontes de energia fóssil. Ou seja ainda falta assegurar a produção de 38140,79 MWh por energias renováveis, assim o dimensionamento feito terá por base este valor.

3.1.6.A Produção Fotovoltaica

Painéis Fotovoltaicos Policristalinos

Através do Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica [16], foi possível simular a produção fotovoltaica com células de silício cristalino na ilha do Pico. O dimensionamento escolhido foi de um parque fotovoltaico com 14 MW de potência nominal. Na tabela 3.12 é possível verificar os detalhes do parque fotovoltaico. Através da posição escolhida mencionada no anexo A.3 (figura A.29) e através da irradiância representada na figura A.17, foi possível chegar à conclusão de qual seria o ângulo de inclinação ótimo e obter estimativas de produção anual de energia fotovoltaica apresentadas com maior detalhe na figura 3.28.

Tabela 3.12: Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos policristalinos

Nº de painéis	50000	
PV instalados (P_{max})	14000 kWp	
Perdas do sistema	10%	
Ângulo de inclinação	30°(ótimo)	
Ângulo de azimute	-3°(ótimo)	
Produção anual de energia fotovoltaica	19500 MWh	
Irradiação no plano anual	1600 kWh/m ²	
Perdas devidas a	Ângulo de incidência	-2,8%
	Temp. e baixa irradiância	-0,3%
Perdas Totais	-12,8%	

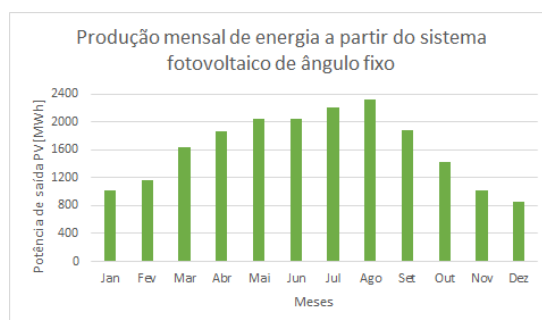


Figura 3.28: Produção média mensal dos painéis fotovoltaicos policristalinos durante um ano no Pico

Painéis Fotovoltaicos de Telureto de Cádmio (CdTe)

Através do Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica [16], foi possível simular a produção fotovoltaica com a tecnologia de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio na ilha do Pico. Segundo as Estimativas Provisórias Anuais da População Residente - Última atualização destes dados: 15 de junho de 2018 (INE), a ilha do Pico tem 13883 habitantes. Assim e dado as aproximações para o dimensionamento desta tecnologia, referidas anteriormente através da equação 2.4, conclui-se que a ilha tem aproximadamente 3470 casas. Sendo que, para este caso a potência nominal máxima instalada

é de 3109,12 kW. Na tabela 3.13 é possível verificar os detalhes deste dimensionamento. Dado que estes painéis irão substituir as janelas das casas, o ângulo de inclinação será de 90°, não sendo o ângulo ótimo de produção. Foi possível obter estimativas da produção anual de energia fotovoltaica apresentadas com maior detalhe na figura 3.29.

Tabela 3.13: Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio

Nº de painéis	55520
PV instalados (P_{max})	3109,12 kW
Ângulo de inclinação	90°
Produção anual de energia fotovoltaica	2260 MWh

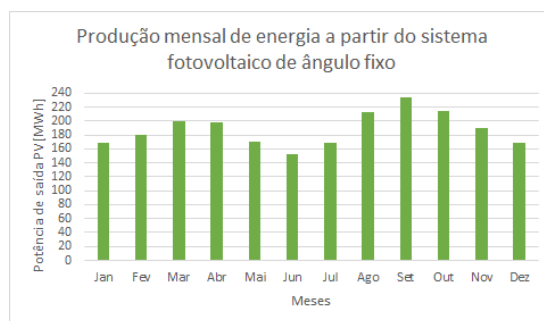


Figura 3.29: Produção média mensal de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio durante um ano no Pico

3.1.6.B Produção Eólica

Como foi mencionado anteriormente os ventos predominantes ao longo do ano na ilha vêm de sudoeste, tal como está representado na figura 1.10. Assim, as turbinas para o dimensionamento sugerido devem estar segundo esta direção. Sendo que a instalação terá uma potência nominal de 10 MW para produção eólica, composto por 5 turbinas, cada uma com potência nominal de 2 MW.

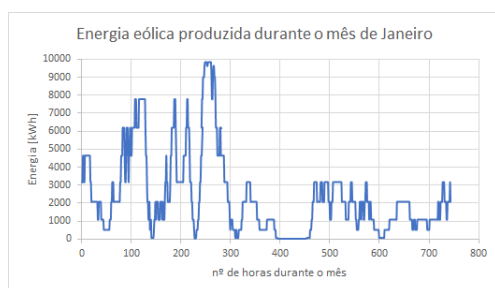


Figura 3.30: Produção de energia eólica no mês de janeiro no Pico

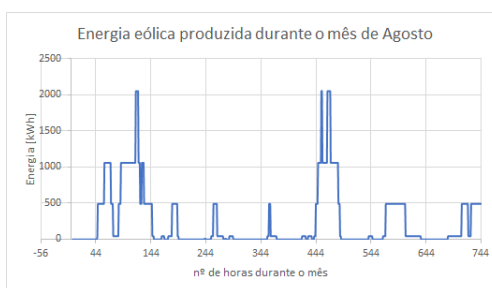


Figura 3.31: Produção de energia eólica no mês de agosto no Pico

Os resultados totais obtidos pelas 5 turbinas durante o mês de janeiro foram de 1764,86 MW, conforme apresentado na figura 3.30. Para agosto, a curva de produção horária do vento é representada

na figura 3.31, sendo que para este dimensionamento, a produção total do mês é de aproximadamente 179,85 MW. Na figura 3.32 é possível observar a produção anual das 5 turbinas eólicas, sendo que o mês de agosto tem uma produção muito baixa e o mês de novembro é o que apresenta uma produção mais elevada.

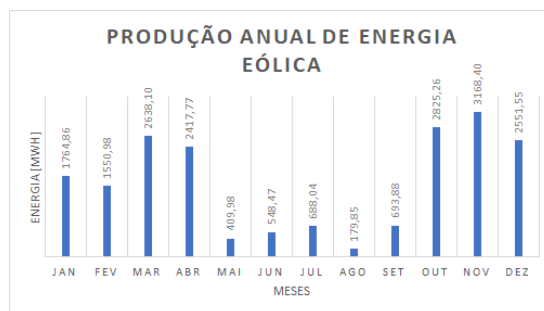


Figura 3.32: Produção anual de energia eólica no Pico

3.1.6.C Produção Geral

Resumindo, é importante visualizar todos os dados de consumo da ilha durante o ano de 2018, de modo a comparar com as estimativas de energia total produzida pelas fontes de energia renováveis que foram dimensionadas anteriormente. Nomeadamente fontes de energia eólica e de energia fotovoltaica com as células de silício cristalino, pois é a opção mais viável. Também é necessário adicionar a estas estimativas o que foi efetivamente produzido durante 2018 pelas fontes de energia renovável já instaladas. Na figura 3.33 verifica-se a azul o consumo total da ilha durante os 12 meses do passado ano de 2018 e a laranja a produção total das diversas fontes de energia renovável, o que foi efetivamente produzido por fontes já instaladas e as estimativas do dimensionamento sugerido.

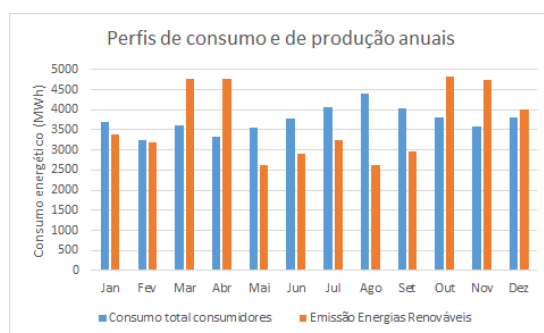


Figura 3.33: Estimativas de emissão total de energias renováveis e consumo mensal relativo ao ano de 2018 no Pico

Observando o gráfico 3.33, conclui-se que durante os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro as fontes de energia renovável não foram capazes de produzir toda a energia que os consumidores precisam. Assim, nestes meses é necessário verificar se o sistema de armazenamento colmata as

falhas de produção, caso não consiga será necessário utilizar as fontes de energia fóssil disponíveis na ilha. Nos outros meses, a produção por fontes renováveis é maior do que o consumidor precisa, portanto, será necessário armazenar essa energia em baterias.

3.1.6.D Armazenamento

Baterias de Iões de Lítio

Segundo os registos presentes no documento [10] relativos ao mês de janeiro de 2019, verifica-se que a ponta máxima do Pico registada foi de 7299 *kW*. Assim, segundo as fórmulas 2.5 e 2.6 conclui-se que esta ilha precisa de 169 bancos de baterias R800 da LG Chem.

3.1.7 Faial

Segundo os dados mais recentes, sabe-se que a produção energética anual no passado ano de 2018 foi de 46315,5 *MWh* [2]. Ao verificar os dados representados na figura A.6 referentes a janeiro de 2019 [10], conclui-se que aproximadamente 83% da produção de energia ainda é assegurada por fontes de energia fóssil. Ou seja ainda falta assegurar a produção de 38441,867 *MWh* por energias renováveis, assim o dimensionamento feito terá por base este valor.

3.1.7.A Produção Fotovoltaica

Painéis Fotovoltaicos Policristalinos

Através do Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica [16], foi possível simular a produção fotovoltaica com células de silício cristalino na ilha do Faial. O dimensionamento escolhido foi de um parque fotovoltaico com 14 *MW* de potência nominal. Na tabela 3.14 é possível verificar os detalhes do parque fotovoltaico. Através da posição escolhida mencionada no anexo A.3 (figura A.30) e através da irradiância representada na figura A.19, foi possível chegar à conclusão de qual seria o ângulo de inclinação ótimo e obter estimativas de produção anual de energia fotovoltaica apresentadas com maior detalhe na figura 3.34.

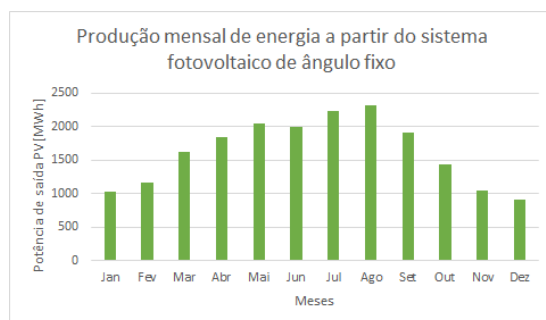


Figura 3.34: Produção média mensal dos painéis fotovoltaicos policristalinos durante um ano no Faial

Tabela 3.14: Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos policristalinos

Nº de painéis	50000	
PV instalados (P_{max})	14000 kW_p	
Perdas do sistema	10%	
Ângulo de inclinação	31°(ótimo)	
Ângulo de azimute	3°(ótimo)	
Produção anual de energia fotovoltaica	19500 MWh	
Irradiação no plano anual	1600 kWh/m^2	
Perdas devidas a	Ângulo de incidência	-2,9%
	Temp. e baixa irradiância	-0,3%
Perdas Totais	-12,8%	

Painéis Fotovoltaicos de Telureto de Cádmio (CdTe)

Através do Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica [16], foi possível simular a produção fotovoltaica com a tecnologia de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio na ilha do Faial. Segundo as Estimativas Provisórias Anuais da População Residente - Última atualização destes dados: 15 de junho de 2018 (INE), a ilha do Faial tem 14824 habitantes. Assim e dado as aproximações para o dimensionamento desta tecnologia, referidas anteriormente através da equação 2.4, conclui-se que a ilha tem aproximadamente 3706 casas. Sendo que, para este caso a potência nominal máxima instalada é de 3320,58 kW . Na tabela 3.15 é possível verificar os detalhes deste dimensionamento. Dado que estes painéis irão substituir as janelas das casas, o ângulo de inclinação será de 90°, não sendo o ângulo ótimo de produção. Foi possível obter estimativas da produção anual de energia fotovoltaica apresentadas com maior detalhe na figura 3.35.

Tabela 3.15: Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio

Nº de painéis	59296
PV instalados (P_{max})	3320,58 kW
Ângulo de inclinação	90°
Produção anual de energia fotovoltaica	2710 MWh

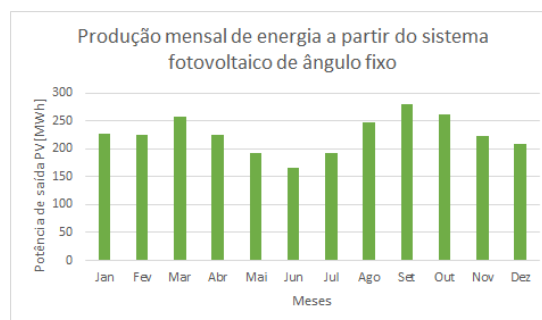


Figura 3.35: Produção média mensal de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio durante um ano no Faial

3.1.7.B Produção Eólica

Como foi mencionado anteriormente os ventos predominantes ao longo do ano na ilha vêm de sudeste, tal como está representado na figura 1.11. Assim, as turbinas para o dimensionamento sugerido devem estar segundo esta direção. Sendo que a instalação terá uma potência nominal de 10 MW para produção eólica, composto por 5 turbinas, cada uma com potência nominal de 2 MW.

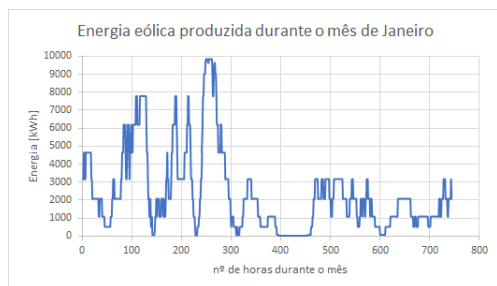


Figura 3.36: Produção de energia eólica no mês de janeiro no Faial

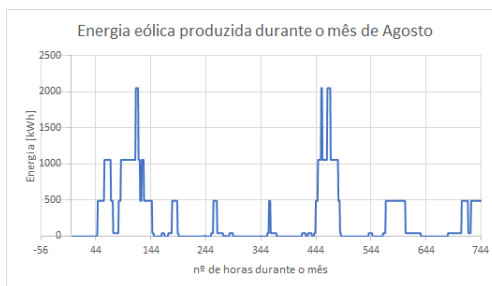


Figura 3.37: Produção de energia eólica no mês de agosto no Faial

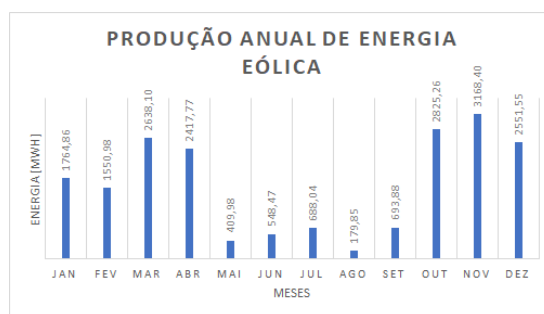


Figura 3.38: Produção anual de energia eólica no Faial

Os resultados totais obtidos pelas 5 turbinas durante o mês de janeiro foram de 1764,86 MW, conforme apresentado na figura 3.36. Para agosto, a curva de produção horária do vento é representada na figura 3.37, sendo que para este dimensionamento, a produção total do mês é de aproximadamente 179,85 MW. Na figura 3.38 é possível observar a produção anual das 5 turbinas eólicas, sendo que o mês de agosto tem uma produção muito baixa e o mês de novembro é o que apresenta uma produção mais elevada.

3.1.7.C Produção Geral

Resumindo, é importante visualizar todos os dados de consumo da ilha durante o ano de 2018, de modo a comparar com as estimativas de energia total produzida pelas fontes de energia renováveis que foram dimensionadas anteriormente. Nomeadamente fontes de energia eólica e de energia fotovoltaica com as células de silício cristalino, pois é a opção mais viável. Também é necessário adicionar a

estas estimativas o que foi efetivamente produzido durante 2018 pelas fontes de energia renovável já instaladas. Na figura 3.39 verifica-se a azul o consumo total da ilha durante os 12 meses do passado ano de 2018 e a laranja a produção total das diversas fontes de energia renovável, o que foi efetivamente produzido por fontes já instaladas e as estimativas do dimensionamento sugerido.

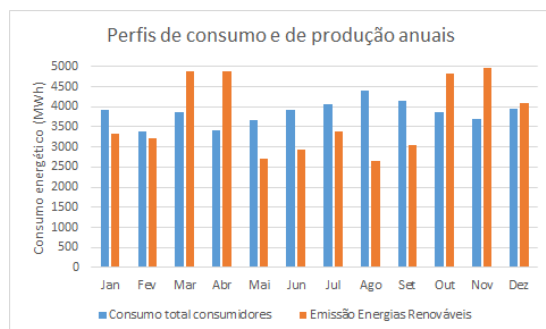


Figura 3.39: Estimativas de emissão total de energias renováveis e consumo mensal relativo ao ano de 2018 no Faial

Observando o gráfico 3.39, conclui-se que durante os meses de janeiro, fevereiro, maio, junho, julho, agosto e setembro as fontes de energia renovável não foram capazes de produzir toda a energia que os consumidores precisam. Assim, nestes meses é necessário verificar se o sistema de armazenamento colmata as falhas de produção, caso não consiga será necessário utilizar as fontes de energia fóssil disponíveis na ilha. Nos outros meses, a produção por fontes renováveis é maior do que o consumidor precisa, portanto, será necessário armazenar essa energia em baterias.

3.1.7.D Armazenamento

Baterias de Iões de Lítio

Segundo os registos presentes no documento [10] relativos ao mês de janeiro de 2019, verifica-se que a ponta máxima do Faial registada foi de 7648 kW. Assim, segundo as fórmulas 2.5 e 2.6 conclui-se que esta ilha precisa de 177 bancos de baterias R800 da LG Chem.

3.1.8 Flores

Segundo os dados mais recentes, sabe-se que a produção energética anual no passado ano de 2018 foi de 11381,60 MWh [2]. Ao verificar os dados representados na figura A.7 referentes a janeiro de 2019 [10], conclui-se que aproximadamente 39% da produção de energia ainda é assegurada por fontes de energia fóssil. Ou seja ainda falta assegurar a produção de 443,99 MWh por energias renováveis, assim o dimensionamento feito terá por base este valor.

3.1.8.A Produção Fotovoltaica

Painéis Fotovoltaicos Policristalinos

Através do Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica [16], foi possível simular a produção fotovoltaica com células de silício cristalino na ilha das Flores. O dimensionamento escolhido foi de um parque fotovoltaico com 2,8 MW de potência nominal. Na tabela 3.16 é possível verificar os detalhes do parque fotovoltaico. Através da posição escolhida mencionada no anexo A.3 (figura A.31) e através da irradiância representada na figura A.21, foi possível chegar à conclusão de qual seria o ângulo de inclinação ótimo e obter estimativas de produção anual de energia fotovoltaica apresentadas com maior detalhe na figura 3.40.

Tabela 3.16: Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos policristalinos

Nº de painéis	10000	
PV instalados (P_{max})	2800 kW _p	
Perdas do sistema	10%	
Ângulo de inclinação	31 °(ótimo)	
Ângulo de azimute	1 °(ótimo)	
Produção anual de energia fotovoltaica	3810 MWh	
Irradiação no plano anual	1560 kWh/m ²	
Perdas devidas a	Ângulo de incidência	-2,8%
	Temp. e baixa irradiância	-0,3%
Perdas Totais	-12,8%	

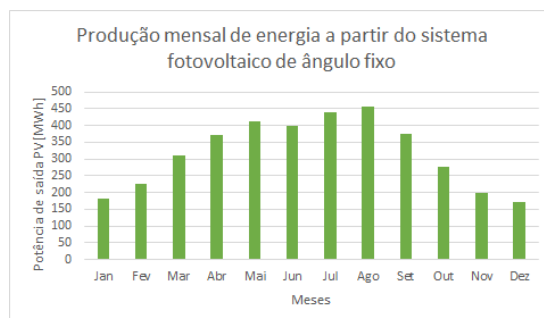


Figura 3.40: Produção média mensal dos painéis fotovoltaicos policristalinos durante um ano nas Flores

Painéis Fotovoltaicas de Telureto de Cádmio (CdTe)

Através do Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica [16], foi possível simular a produção fotovoltaica com a tecnologia de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio na ilha das Flores. Segundo as Estimativas Provisórias Anuais da População Residente - Última atualização destes dados: 15 de junho de 2018 (INE), a ilha das Flores tem 3699 habitantes. Assim e dado as aproximações para o dimensionamento desta tecnologia, referidas anteriormente através da equação 2.4, conclui-se que a ilha tem aproximadamente 924 casas. Sendo que, para este caso a potência nominal máxima insta-

lada é de 827,9 kW . Na tabela 3.17 é possível verificar os detalhes deste dimensionamento. Dado que estes painéis irão substituir as janelas das casas, o ângulo de inclinação será de 90° , não sendo o ângulo ótimo de produção. Foi possível obter estimativas da produção anual de energia fotovoltaica apresentadas com maior detalhe na figura 3.41.

Tabela 3.17: Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio

Nº de painéis	14784
PV instalados (P_{max})	827,9 kW
Ângulo de inclinação	90°
Produção anual de energia fotovoltaica	650 MWh

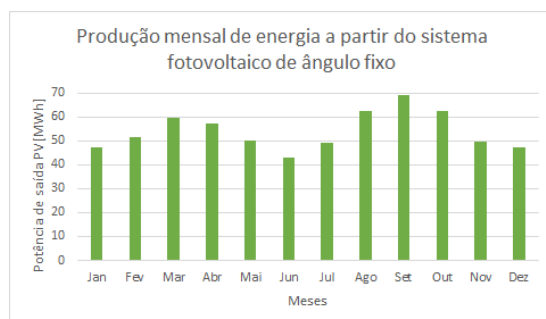


Figura 3.41: Produção média mensal de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio durante um ano nas Flores

3.1.8.B Produção Eólica

Como foi mencionado anteriormente os ventos predominantes ao longo do ano na ilha vêm de sul-sudeste, tal como está representado na figura 1.12. Assim, as turbinas para o dimensionamento sugerido devem estar segundo esta direção. Sendo que a instalação terá uma potência nominal de 450 kW para produção eólica, composto por 3 turbinas, cada uma com potência nominal de 150 kW .

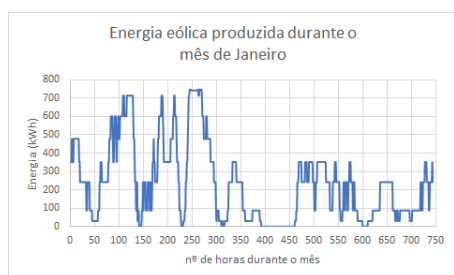


Figura 3.42: Produção de energia eólica no mês de janeiro nas Flores

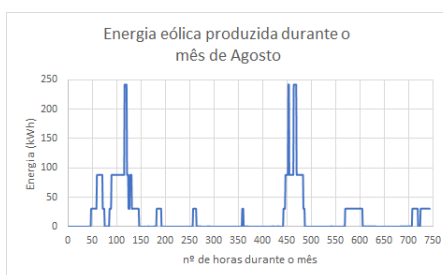


Figura 3.43: Produção de energia eólica no mês de agosto nas Flores

Os resultados totais obtidos pelas 3 turbinas durante o mês de janeiro foram de 175,29 MWh , conforme apresentado na figura 3.42. Para agosto, a curva de produção horária do vento é representada na

figura 3.43, sendo que para este dimensionamento, a produção total do mês é de apenas 13,87 MW. Na figura 3.44 é possível observar a produção anual das 3 turbinas eólicas, sendo que o mês de agosto tem uma produção muito baixa e o mês de novembro é o que apresenta uma produção mais elevada.

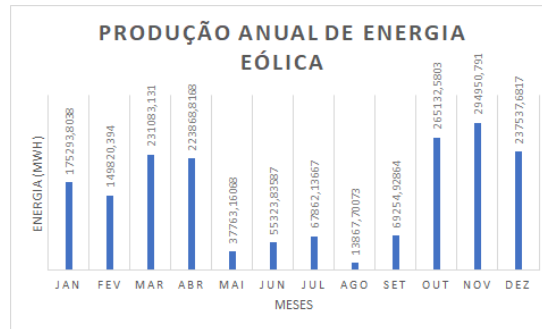


Figura 3.44: Produção anual de energia eólica nas Flores

3.1.8.C Produção Geral

Resumindo, é importante visualizar todos os dados de consumo da ilha durante o ano de 2018, de modo a comparar com as estimativas de energia total produzida pelas fontes de energia renováveis que foram dimensionadas anteriormente. Nomeadamente fontes de energia eólica e de energia fotovoltaica com as células de silício cristalino, pois é a opção mais viável. Também é necessário adicionar a estas estimativas o que foi efetivamente produzido durante 2018 pelas fontes de energia renovável já instaladas. Na figura 3.45 verifica-se a azul o consumo total da ilha durante os 12 meses do passado ano de 2018 e a laranja a produção total das diversas fontes de energia renovável, o que foi efetivamente produzido por fontes já instaladas e as estimativas do dimensionamento sugerido.

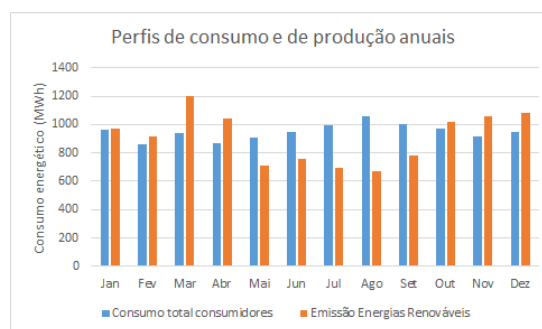


Figura 3.45: Estimativas de emissão total de energias renováveis e consumo mensal relativo ao ano de 2018 nas Flores

Observando o gráfico 3.45, conclui-se que durante os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro as fontes de energia renovável não foram capazes de produzir toda a energia que os consumidores precisam. Assim, nestes meses é necessário verificar se o sistema de armazenamento colmata as

falhas de produção, caso não consiga será necessário utilizar as fontes de energia fóssil disponíveis na ilha. Nos outros meses, a produção por fontes renováveis é maior do que o consumidor precisa, portanto, será necessário armazenar essa energia em baterias.

3.1.8.D Armazenamento

Baterias de Iões de Lítio

Segundo os registos presentes no documento [10] relativos ao mês de janeiro de 2019, verifica-se que a ponta máxima das Flores registada foi de 1832 kW. Assim, segundo as fórmulas 2.5 e 2.6 conclui-se que esta ilha precisa de 43 bancos de baterias R800 da LG Chem.

3.1.9 Corvo

Segundo os dados mais recentes, sabe-se que a produção energética anual no passado ano de 2018 foi de 1562,75 MWh [2]. Ao verificar os dados representados na figura A.8 referentes a janeiro de 2019 [10], conclui-se que esta ilha ainda não possui fontes de energia renovável. Ou seja a sua produção energética ainda é assegurada por fontes de energia fóssil. Assim, o dimensionamento terá por base o valor total da produção atual anual.

3.1.9.A Produção Fotovoltaica

Painéis Fotovoltaicos Policristalinos

Através do Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica [16], foi possível simular a produção fotovoltaica com células de silício cristalino na ilha do Corvo. O dimensionamento escolhido foi de um parque fotovoltaico com 840 kW_p de potência nominal. Na tabela 3.18 é possível verificar os detalhes do parque fotovoltaico. Através da posição escolhida mencionada no anexo A.3 (figura A.32) e através da irradiância representada na figura A.23, foi possível chegar à conclusão de qual seria o ângulo de inclinação ótimo e obter estimativas de produção anual de energia fotovoltaica apresentadas com maior detalhe na figura 3.46.

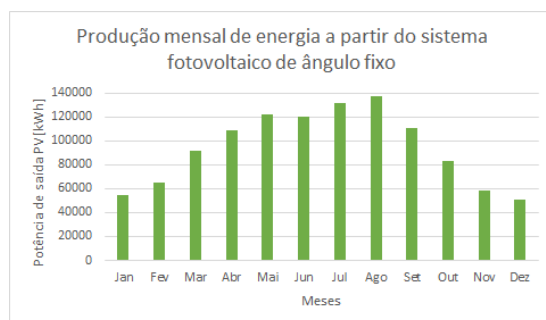


Figura 3.46: Produção média mensal dos painéis fotovoltaicos policristalinos durante um ano no Corvo

Tabela 3.18: Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos policristalinos

Nº de painéis	3000	
PV instalados (P_{max})	840 kW_p	
Perdas do sistema	10%	
Ângulo de inclinação	31 °(ótimo)	
Ângulo de azimute	4 °(ótimo)	
Produção anual de energia fotovoltaica	1130 MWh	
Irradiação no plano anual	1550 kWh/m^2	
Perdas devidas a	Ângulo de incidência	-2,8%
	Temp. e baixa irradiância	-0,1%
Perdas Totais	-12,6%	

Painéis Fotovoltaicos de Telureto de Cádmio (CdTe)

Através do Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica [16], foi possível simular a produção fotovoltaica com a tecnologia de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio na ilha do Corvo. Segundo as Estimativas Provisórias Anuais da População Residente - Última atualização destes dados: 15 de junho de 2018 (INE), a ilha do Corvo tem 459 habitantes. Assim e dado as aproximações para o dimensionamento desta tecnologia, referidas anteriormente através da equação 2.4, conclui-se que a ilha tem aproximadamente 114 casas. Sendo que, para este caso a potência nominal máxima instalada é de 102,14 kW . Na tabela 3.19 é possível verificar os detalhes deste dimensionamento. Dado que estes painéis irão substituir as janelas das casas, o ângulo de inclinação será de 90°, não sendo o ângulo ótimo de produção. Foi possível obter estimativas da produção anual de energia fotovoltaica apresentadas com maior detalhe na figura 3.47.

Tabela 3.19: Dados para dimensionamento do sistema com painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio

Nº de painéis	1824
PV instalados (P_{max})	102,14 kW
Ângulo de inclinação	90°
Produção anual de energia fotovoltaica	81,1 MWh

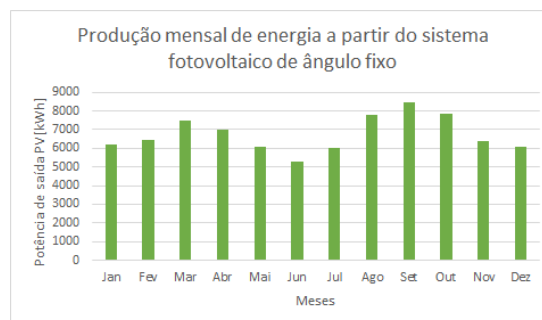


Figura 3.47: Produção média mensal de painéis fotovoltaicos de Telureto de Cádmio durante um ano em Santa Maria

3.1.9.B Produção Eólica

Como foi mencionado anteriormente os ventos predominantes ao longo do ano na ilha vêm de sudoeste, tal como está representado na figura 1.13. Assim, as turbinas para o dimensionamento sugerido devem estar segundo esta direção. Sendo que a instalação terá uma potência nominal de 300 kW para produção eólica, composto por 2 turbinas, cada uma com potência nominal de 150 kW.

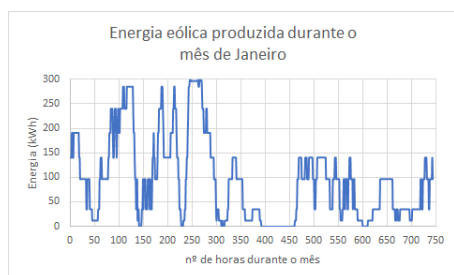


Figura 3.48: Produção de energia eólica no mês de janeiro no Corvo

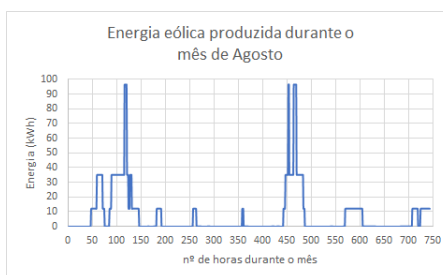


Figura 3.49: Produção de energia eólica no mês de agosto no Corvo

Os resultados totais obtidos pelas 2 turbinas durante o mês de janeiro foram de 70117,52 kW, conforme apresentado na figura 3.48. Para agosto, a curva de produção horária do vento é representada na figura 3.49, sendo que para este dimensionamento, a produção total do mês é de aproximadamente 5547,08 kW. Na figura 3.50 é possível observar a produção anual das 2 turbinas eólicas, sendo que o mês de agosto tem uma produção muito baixa e o mês de novembro é o que apresenta uma produção mais elevada.

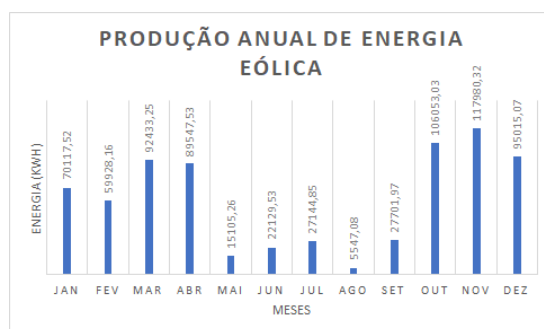


Figura 3.50: Produção anual de energia eólica no Corvo

3.1.9.C Produção Geral

Resumindo, é importante visualizar todos os dados de consumo da ilha durante o ano de 2018, de modo a comparar com as estimativas de energia total produzida pelas fontes de energia renováveis que foram dimensionadas anteriormente. Nomeadamente fontes de energia eólica e de energia fotovoltaica com as células de silício cristalino, pois é a opção mais viável. Na figura 3.51 verifica-se a azul o consumo

total da ilha durante os 12 meses do passado ano de 2018 e a laranja a produção total das fontes de energia renovável obtida através das estimativas do dimensionamento sugerido.

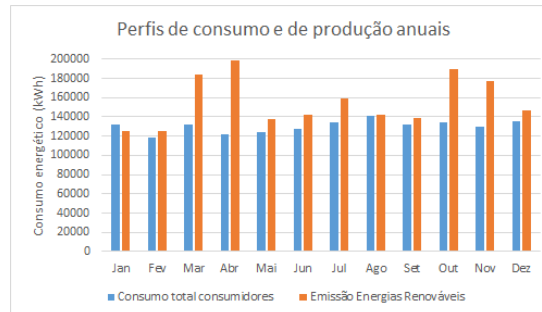


Figura 3.51: Estimativas de emissão total de energias renováveis e consumo mensal relativo ao ano de 2018 no Corvo

Observando o gráfico 3.51, conclui-se que foi somente durante o mês de janeiro que as fontes de energia renovável não foram capazes de produzir toda a energia que os consumidores precisam. Assim, neste mês é necessário verificar se o sistema de armazenamento colmata as falhas de produção, caso não consiga será necessário utilizar a fonte de energia fóssil disponível na ilha. Nos outros meses, a produção por fontes renováveis é maior do que o consumidor precisa, portanto, será necessário armazenar essa energia em baterias.

3.1.9.D Armazenamento

Baterias de Iões de Lítio

Segundo os registos presentes no documento [10] relativos ao mês de janeiro de 2019, verifica-se que a ponta máxima do Corvo registada foi de 295 kW. Assim, segundo as fórmulas 2.5 e 2.6 conclui-se que esta ilha precisa de 7 bancos de baterias R800 da LG Chem.

4

Estudo Económico

Conteúdo

4.1 Custos totais da eletricidade e tempo de retorno das soluções apresentadas	64
4.2 Análise dos Resultados	78
4.3 Impactos Sócio-Económicos	79

Neste capítulo será apresentado os custos das tecnologias explicadas no capítulo anterior, conforme o dimensionamento apresentado para cada ilha. No final, será feita uma conclusão sobre qual a melhor solução ao nível económico e dos impactos socio-económicos.

4.1 Custos totais da eletricidade e tempo de retorno das soluções apresentadas

Considerando as tarifas tri-horárias da região apresentadas na tabela 4.2, obtém-se um custo total de eletricidade por ano diferente para cada ilha, conforme o consumo desta. Para obter este custo verificou-se os diferentes consumos de Média Tensão, nomeadamente relativos ao comércio, serviços públicos e indústria. E também se verificou os consumos de Baixa Tensão, que se referem ao consumo doméstico, comércio, serviços públicos e indústria. Dentro do consumo de Baixa Tensão é importante ter em conta o consumo da iluminação pública dado que tem um custo por kWh superior, tal como está representado na tabela 4.2. [2] Sendo que cada dia tem um total de 10 horas cheias, 10 horas de vazio e 4 horas de ponta (tabela 4.1) para contabilizar o custo energético de cada ilha e dado que não foi possível obter os detalhes do consumo pelos diferentes horários pretendidos, foi feita uma estimativa do consumo anual pelas diferentes tarifas.

Tabela 4.1: Horário das horas de ponta, cheias e de vazio

Horas de Vazio	[0h-8h] [22h-24h]
Horas Cheias	[8h-10h30] [13h-19h30] [21h-22h]
Horas de Ponta	[10h30-13h] [19h30-21h]

Tabela 4.2: Tarifas na Região Autónoma dos Açores - 2019 [18]

Média Tensão	Energia Ativa (€/kWh)		
	Horas de Ponta	Horas de Cheia	Horas de Vazio
	0,1251	0,1064	0,0733
Baixa Tensão	Energia Ativa (€/kWh)		
	Horas de Ponta	Horas de Cheia	Horas de Vazio
	0,1452	0,1268	0,0830
Iluminação Pública	Energia Ativa (€/kWh)		
	Horas de Ponta	Horas de Cheia	Horas de Vazio
	0,2237	0,1651	0,1000

Fazendo uma média do preço atual da eletricidade na região, a partir dos dados da tabela 4.2, chega-se à conclusão que a estimativa é de 128 €/MWh. De modo a fazer uma estimativa dos custos da eletricidade anuais é necessário analisar o consumo energético diferenciado conforme as tarifas apresentadas. Assim, no anexo A.7 é possível observar a percentagem do consumo anual para MT e BT para todas as ilhas.

Para o dimensionamento de cada ilha é possível obter os anos de retorno do investimento a partir da seguinte fórmula:

$$\frac{InvestimentoTotal}{CustoTotalEletricidade/ano} \quad (4.1)$$

O custo total da eletricidade por ano é obtido através das tarifas descritas na tabela 4.2 e dos dados de consumo de cada ilha.

Certos custos de operação e manutenção são fixos e transversais aos projetos implementados nas 9 ilhas. Relativamente ao custo do desenvolvimento do projeto, também tem um custo fixo, sendo que o projeto tem um tempo de vida de 20 anos e uma taxa de desconto de 7%.

Assim, para cada ilha é necessário calcular o custo nivelado de energia (LCOE) em (€/MWh), pois permite fazer uma avaliação económica do custo total médio para operar um ativo gerador de energia durante a vida útil do projeto. Este também pode ser considerado o preço mínimo médio pelo qual a eletricidade deve ser vendida, a fim de se equilibrar ao longo da vida útil do projeto. É importante efetuar estes cálculos para cada uma das ilhas, de modo a comparar com as tarifas atuais da região apresentadas na tabela 4.2. O ideal será sempre que o valor LCOE calculado seja inferior ao valor médio de 128 €/MWh, pois permite que o preço cobrado aos consumidores seja inferior ao valor atual.

Na equação 4.2 está representado o modelo do cálculo simplificado do LCOE, em que I_t representa o investimento total do projeto, i representa o inverso do fator de desconto, cOM é a percentagem anual dos custos de operação e manutenção, E_a é o consumo energético anual.

$$LCOE = \frac{I_t(i + cOM)}{E_a} \quad (4.2)$$

De modo a fazer uma avaliação económica de rentabilidade do projeto é necessário calcular o Valor Actual Líquido (VAL). Este tem como objetivo avaliar a viabilidade de um projeto de investimento através do cálculo do valor atual de todos os seus cash-flows.

Na equação 4.3 está representado o modelo do cálculo simplificado do VAL, em que k_a representa o fator de desconto e R são as receitas anuais totais.

$$VAL = (R - cOM)k_a - I_t \quad (4.3)$$

Para simplificação dos cálculos considera-se que os custos de manutenção e operação são 5%. Es-

tes estão explicados com mais detalhe técnico no anexo A.4. Relativamente aos custos associados às obras das infraestruturas (subestações e central de baterias) e aos custos associados aos transportes dos equipamentos será feita uma estimativa de 5% do valor total de todos os equipamentos do projeto. Dado que este estudo acaba por ser uma primeira aproximação dos custos totais dos nove diferentes dimensionamentos propostos serão considerados outros custos com um valor de 2% do custo total do projeto. Estes custos terão em consideração cabos para efetuar as ligações entre os equipamentos do sistema, mais proteções, celas que eventualmente serão necessárias, assim como algumas despesas imprevisíveis que possam surgir. No caso das proteções será necessário fazer um estudo mais detalhado sobre quais as melhores opções e se serão necessárias mais proteções nas subestações do parque eólico e fotovoltaico. Neste momento, os preços apresentados são apenas aproximações obtidas através da empresa Efacec e sugestões feitas com base no projeto implementado na ilha Graciosa (Graciólca).

Os preços de alguns equipamentos, nomeadamente o preço do controlador de carga e dos diferentes transformadores mencionados anteriormente. Assim como o preço dos cabos utilizados para o transporte energético de MT entre o parque eólico e a central de baterias foram obtidos através dos sites: <https://www.alibaba.com> e <https://loja.solarimpact.pt>.

4.1.1 Santa Maria

Segundo os dados de consumo do documento [2], verifica-se que o consumo total da ilha de Santa Maria em 2018 foi de 19,48 *GWh*. Foi necessário fazer uma estimativa do número de horas cheias, de ponta e de vazio conforme o consumo anual. Assim e observando os dados apresentados na tabela 4.3, conclui-se que as receitas totais da eletricidade para o ano de 2018 foi de 2131115,44 €.

Tabela 4.3: Custo total da electricidade em Santa Maria relativamente ao ano de 2018

	Horas de Ponta	Horas de Cheia	Horas de Vazio
Média Tensão	130827,3	278311,5	191731,5
Baixa Tensão	281479,4	614819,8	402445,1
Iluminação Pública	58399,4	107804,8	65296,7

De seguida será apresentado o investimento total inicial do projeto para as duas soluções apresentadas no capítulo anterior. Na tabela 4.4 estão os custos detalhados para primeira solução, ou seja, a solução com os painéis policristalinos.

Tabela 4.4: Estudo económico da primeira solução apresentada para a ilha de Santa Maria

Equipamentos	Custos	
	Custo Unitário	Custo Total
Painéis Policristalinos	0,2 €/W	≈1680 k€
Turbinas Eólicas	≈1 M€/MW	≈4 M€
Transporte Média Tensão 3 km (cabos de alumínio)	≈20€/m	≈60 k€
Baterias	≈275 €/kW	≈964,39 k€
Inversores - Painéis Fotovoltaicos	≈500 €	≈3000 k€
Controladores de Carga	≈370 €	≈2220 k€
Inversores - Central Baterias	≈120 k€	≈240 k€
Transformadores 4,5 MVA	≈25 k€	≈50 k€
Transformadores 4 MVA	≈20 k€	≈20 k€
Transformadores 3 MVA	≈15 k€	≈30 k€
Proteções TPU S430	≈2650 €	≈5300 €
Proteções TPU D500	≈10000 €	≈20 k€
Instalações / Transportes de equipamentos	-	≈614,5 k€
Outros Custos	-	≈258,1 k€
Preço Total (€)	-	≈13,2 M€

Na segunda solução apresentada na tabela 4.5, ou seja, a solução com os painéis de Telureto de Cádmio. Nesta tabela mudam os custos dos painéis utilizados, sendo que estes irão cobrir as fachadas das casas. Consequentemente, também irão mudar os custos associados aos controladores de carga e transformadores. Não será necessário ter em consideração o custo das Proteções TPU S430.

Tabela 4.5: Estudo económico da segunda solução apresentada para a ilha de Santa Maria

Equipamentos	Custos	
	Custo Unitário	Custo Total
Painéis PS-CT-56	0,4 €/W	≈506,42 k€
Inversores - Painéis Fotovoltaicos	≈500 €	≈706,5 k€
Controladores de Carga	≈370 €	≈522,81 k€
Transformadores 5 kVA	≈400 €	≈565,2 k€
...
Instalações / Transportes de equipamentos	-	≈381,8 k€
Outros Custos	-	≈160,4 k€
Preço Total (€)	-	≈9,2 M€

4.1.2 São Miguel

Segundo os dados de consumo do documento [2], verifica-se que o consumo total da ilha de São Miguel em 2018 foi de 411,12 GWh. Assim e observando os dados apresentados na tabela 4.6, conclui-se que as receitas totais da eletricidade para o ano de 2018 foi de 43772467,97 €.

Tabela 4.6: Custo total da electricidade em São Miguel relativamente ao ano de 2018

	Horas de Ponta	Horas de Cheia	Horas de Vazio
Média Tensão	3511492,3	7470067,8	5146202,7
Baixa Tensão	5492210,6	11996327,6	7852485,8
Iluminação Pública	581136,6	1072772,9	649771,6

De seguida será apresentado o investimento total inicial do projeto para as duas soluções apresentadas no capítulo anterior. Na tabela 4.7 estão os custos detalhados para primeira solução, ou seja, a solução com os painéis policristalinos.

Tabela 4.7: Estudo económico da primeira solução apresentada para a ilha de São Miguel

Equipamentos	Custos	
	Custo Unitário	Custo Total
Painéis Policristalinos	0,2 €/W	≈5000 k€
Turbinas Eólicas	≈1 M€/MW	≈90 M€
Transporte Média Tensão 30 km (cabos de alumínio)	≈20€/m	≈600 k€
Baterias	≈275 €/kW	≈19448,57 k€
Inversores - Painéis Fotovoltaicos	≈500 €	≈10000 k€
Controladores de Carga	≈370 €	≈7400 k€
Inversores - Central Baterias	≈120 k€	4800 k€
Transformadores 4,5 MVA	≈25 k€	≈175 k€
Transformadores 4 MVA	≈20 k€	≈440 k€
Transformadores 2 MVA	≈10 k€	≈10 k€
Transformadores 3 MVA	≈15 k€	≈600 k€
Proteções TPU S430	≈2650 €	≈5300 €
Proteções TPU D500	≈10000 €	≈20 k€
Instalações / Transportes de equipamentos	-	≈6925 k€
Outros Custos	-	≈2908,5 k€
Preço Total (€)	-	≈148,4 M€

Na segunda solução apresentada na tabela 4.8, ou seja, a solução com os painéis de Telureto de Cádmio. Nesta tabela mudam o custos dos painéis utilizados, sendo que estes irão cobrir as fachadas das casas. Consequentemente, também irão mudar os custos associados aos controladores de carga e transformadores. Também, comparando com a tabela 4.7, não será necessário ter em consideração o custo associado às Proteções TPU S430.

Tabela 4.8: Estudo económico da segunda solução apresentada para a ilha de São Miguel

Equipamentos	Custos	
	Custo Unitário	Custo Total
Painéis PS-CT-56	0,4 €/W	≈12383,8 k€
Inversores - Painéis Fotovoltaicos	≈500 €	≈17276,5 k€
Controladores de Carga	≈370 €	≈12784,61 k€
Transformadores 5 kVA	≈400 €	≈13821,2 k€
...
Instalações / Transportes de equipamentos	-	≈14362,6 k€
Outros Custos	-	≈6032,3 k€
Preço Total (€)	-	≈307,7 M€

4.1.3 Terceira

De seguida será apresentado o investimento total inicial do projeto para as duas soluções apresentadas no capítulo anterior. Na tabela 4.9 estão os custos detalhados para primeira solução, ou seja, a solução com os painéis policristalinos.

Tabela 4.9: Estudo económico da primeira solução apresentada para a ilha Terceira

Equipamentos	Custos	
	Custo Unitário	Custo Total
Painéis Policristalinos	0,2 €/W	≈11200 k€
Turbinas Eólicas	≈1 M€/MW	≈28 M€
Transporte Média Tensão 4 km (cabos de alumínio)	≈20€/m	≈80 k€
Baterias	≈275 €/kW	≈8531,16 k€
Inversores - Painéis Fotovoltaicos	≈500 €	≈20000 k€
Controladores de Carga	≈370 €	≈14800 k€
Inversores - Central Baterias	≈120 k€	2160 k€
Transformadores 4,5 MVA	≈25 k€	≈350 k€
Transformadores 4 MVA	≈20 k€	≈140 k€
Transformadores 3 MVA	≈15 k€	≈270 k€
Proteções TPU S430	≈2650 €	≈5300 €
Proteções TPU D500	≈10000 €	≈20 k€
Instalações / Transportes de equipamentos	-	≈4277,9 k€
Outros Custos	-	≈1796,7 k€
Preço Total (€)	-	≈91,7 M€

Na segunda solução apresentada na tabela 4.10, ou seja, a solução com os painéis de Telureto de Cádmio. Nesta tabela mudam o custos dos painéis utilizados, sendo que estes irão cobrir as fachadas das casas. Consequentemente, também irão mudar os custos associados aos controladores de carga e transformadores. Não será necessário ter em consideração o custo das Proteções TPU S430.

Tabela 4.10: Estudo económico da segunda solução apresentada para a ilha Terceira

Equipamentos	Custos	
	Custo Unitário	Custo Total
Painéis PS-CT-56	0,4 €/W	≈5030,14 k€
Inversores - Painéis Fotovoltaicos	≈500 €	≈7017,5 k€
Controladores de Carga	≈370 €	≈5192,95 k€
Transformadores 5 kVA	≈400 €	≈5614 k€
...
Instalações / Transportes de equipamentos	-	≈3103,1 k€
Outros Custos	-	≈1303,3 k€
Preço Total (€)	-	≈66,5 M€

Segundo os dados de consumo do documento [2], verifica-se que o consumo total da ilha Terceira em 2018 foi de 176,45 *GWh*. Assim e observando os dados apresentados na tabela 4.11, conclui-se que as receitas totais da eletricidade para o ano de 2018 foi de 18661999,28 €.

Tabela 4.11: Custo total da electricidade na Terceira relativamente ao ano de 2018

	Horas de Ponta	Horas de Cheia	Horas de Vazio
Média Tensão	1582549,9	3366590	2319276,7
Baixa Tensão	2314528,2	5055494,3	3309195,8
Iluminação Pública	180208,6	332663,6	201492,2

4.1.4 Graciosa

Segundo os dados de consumo do documento [2], verifica-se que o consumo total da ilha Graciosa em 2018 foi de 12,72 *GWh*. Assim e observando os dados apresentados na tabela 4.12, conclui-se que as receitas totais da eletricidade para o ano de 2018 foi de 1398355,23 €.

Tabela 4.12: Custo total da electricidade na Graciosa relativamente ao ano de 2018

	Horas de Ponta	Horas de Cheia	Horas de Vazio
Média Tensão	70489,8	149954,4	103305,1
Baixa Tensão	204062,5	445722,2	291758,2
Iluminação Pública	33567,1	61964,5	37531,5

De seguida será apresentado o investimento total inicial do projeto para as duas soluções apresentadas no capítulo anterior. Na tabela 4.13 estão os custos detalhados para primeira solução, ou seja, a solução com os painéis policristalinos.

Tabela 4.13: Estudo económico da primeira solução apresentada para a ilha Graciosa

Equipamentos	Custos	
	Custo Unitário	Custo Total
Painéis Policristalinos	0,2 €/W	≈672 k€
Inversores - Painéis Fotovoltaicos	≈500 €	≈1200 k€
Controladores de Carga	≈370 €	≈888 k€
Transformadores 4,5 MVA	≈25 k€	≈25 k€
Instalações / Transportes de equipamentos	-	≈139,3 k€
Outros Custos	-	≈58,5 k€
Preço Total (€)	-	≈2,99 M€

Na segunda solução apresentada na tabela 4.14, ou seja, a solução com os painéis de Telureto de Cádmio. Nesta tabela mudam o custos dos painéis utilizados, sendo que estes irão cobrir as fachadas das casas. Consequentemente, também irão mudar os custos associados aos controladores de carga e transformadores.

Tabela 4.14: Estudo económico da segunda solução apresentada para a ilha Graciosa

Equipamentos	Custos	
	Custo Unitário	Custo Total
Painéis PS-CT-56	0,4 €/W	≈388,51 k€
Inversores - Painéis Fotovoltaicos	≈500 €	≈542 k€
Controladores de Carga	≈370 €	≈401,08 k€
Transformadores 5 kVA	≈400 €	≈433,6 k€
Instalações / Transportes de equipamentos	-	≈88,3 k€
Outros Custos	-	≈37,1 k€
Preço Total (€)	-	≈1,89 M€

4.1.5 São Jorge

Segundo os dados de consumo do documento [2], verifica-se que o consumo total da ilha de São Jorge em 2018 foi de 26,80 GWh. Assim e observando os dados apresentados na tabela 4.15, conclui-se que as receitas totais da eletricidade para o ano de 2018 foi de 2919843,12 €.

Tabela 4.15: Custo total da electricidade em São Jorge relativamente ao ano de 2018

	Horas de Ponta	Horas de Cheia	Horas de Vazio
Média Tensão	159258,6	338794,1	233398,5
Baixa Tensão	430146	939543,7	615001
Iluminação Pública	51386,6	94859,1	57455,6

De seguida será apresentado o investimento total inicial do projeto para as duas soluções apresentadas no capítulo anterior. Na tabela 4.16 estão os custos detalhados para primeira solução, ou seja, a solução com os painéis policristalinos.

Tabela 4.16: Estudo económico da primeira solução apresentada para a ilha de São Jorge

Equipamentos	Custos	
	Custo Unitário	Custo Total
Painéis Policristalinos	0,2 €/W	≈2352 k€
Turbinas Eólicas	≈1 M€/MW	≈6 M€
Transporte Média Tensão 17 km (cabos de alumínio)	≈20€/m	≈340 k€
Baterias	≈275 €/kW	≈1347,68 k€
Inversores - Painéis Fotovoltaicos	≈500 €	≈4200 k€
Controladores de Carga	≈370 €	≈3108 k€
Inversores - Central Baterias	≈120 k€	≈360 k€
Transformadores 4,5 MVA	≈25 k€	≈75 k€
Transformadores 4 MVA	≈20 k€	≈20 k€
Transformadores 2 MVA	≈10 k€	≈10 k€
Transformadores 3 MVA	≈15 k€	≈45 k€
Proteções TPU S430	≈2650 €	≈5300 €
Proteções TPU D500	≈10000 €	≈20 k€
Instalações / Transportes de equipamentos	-	≈894,2 k€
Outros Custos	-	≈375,6 k€
Preço Total (€)	-	≈19,2 M€

Na segunda solução apresentada na tabela 4.17, ou seja, a solução com os painéis de Telureto de Cádmio. Nesta tabela mudam os custos dos painéis utilizados, sendo que estes irão cobrir as fachadas das casas. Consequentemente, também irão mudar os custos associados aos controladores de carga e transformadores. Também, comparando com a tabela 4.16, não será necessário ter em consideração o custo associado às Proteções TPU S430.

Tabela 4.17: Estudo económico da segunda solução apresentada para a ilha de São Jorge

Equipamentos	Custos	
	Custo Unitário	Custo Total
Painéis PS-CT-56	0,4 €/W	≈766,62 k€
Inversores - Painéis Fotovoltaicos	≈500 €	≈1069,5 k€
Controladores de Carga	≈370 €	≈791,43 k€
Transformadores 5 kVA	≈400 €	≈855,6 k€
...
Instalações / Transportes de equipamentos	-	≈926,3 k€
Outros Custos	-	≈389 k€
Preço Total (€)	-	≈19,9 M€

4.1.6 Pico

De seguida será apresentado o investimento total inicial do projeto para as duas soluções apresentadas no capítulo anterior. Na tabela 4.18 estão os custos detalhados para primeira solução, ou seja, a solução com os painéis policristalinos.

Tabela 4.18: Estudo económico da primeira solução apresentada para a ilha do Pico

Equipamentos	Custos	
	Custo Unitário	Custo Total
Painéis Policristalinos	0,2 €/W	≈2800 k€
Turbinas Eólicas	≈1 M€/MW	≈10 M€
Transporte Média Tensão 7 km (cabos de alumínio)	≈20€/m	≈140 k€
Baterias	≈275 €/kW	≈2089,52 k€
Inversores - Painéis Fotovoltaicos	≈500 €	≈5000 k€
Controladores de Carga	≈370 €	≈3700 k€
Inversores - Central Baterias	≈120 k€	≈600 k€
Transformadores 4,5 MVA	≈25 k€	≈100 k€
Transformadores 4 MVA	≈20 k€	≈40 k€
Transformadores 2 MVA	≈10 k€	≈10 k€
Transformadores 3 MVA	≈15 k€	≈75 k€
Proteções TPU S430	≈2650 €	≈5300 €
Proteções TPU D500	≈10000 €	≈20 k€
Instalações / Transportes de equipamentos	-	≈1229 k€
Outros Custos	-	≈516,2 k€
Preço Total (€)	-	≈26,4 M€

Segundo os dados de consumo do documento [2], verifica-se que o consumo total da ilha do Pico em 2018 foi de 41,63 GWh. Assim e observando os dados apresentados na tabela 4.19, conclui-se que as receitas totais da eletricidade para o ano de 2018 foi de 4594550,83 €.

Tabela 4.19: Custo total da electricidade no Pico relativamente ao ano de 2018

	Horas de Ponta	Horas de Cheia	Horas de Vazio
Média Tensão	198956,4	423244	291576,9
Baixa Tensão	708973,7	1548571,6	1013654,9
Iluminação Pública	103320,7	190729,1	115523,4

Na segunda solução apresentada na tabela 4.20, ou seja, a solução com os painéis de Telureto de Cádmio. Nesta tabela mudam o custos dos painéis utilizados, sendo que estes irão cobrir as fachadas das casas. Consequentemente, também irão mudar os custos associados aos controladores de carga e transformadores. Também, comparando com a tabela 4.18, não será necessário ter em consideração o custo associado às Proteções TPU S430.

Tabela 4.20: Estudo económico da segunda solução apresentada para a ilha do Pico

Equipamentos	Custos	
	Custo Unitário	Custo Total
Painéis PS-CT-56	0,4 €/W	≈1243,65 k€
Inversores - Painéis Fotovoltaicos	≈500 €	≈1735 k€
Controladores de Carga	≈370 €	≈1283,9 k€
Transformadores 5 kVA	≈400 €	≈1388 k€
...
Instalações / Transportes de equipamentos	-	≈931,3 k€
Outros Custos	-	≈391,2 k€
Preço Total (€)	-	≈20 M€

4.1.7 Faial

Será apresentado o investimento total inicial do projeto para as duas soluções apresentadas no capítulo anterior. Na tabela 4.21 estão os custos detalhados para primeira solução, ou seja, a solução com os painéis policristalinos.

Tabela 4.21: Estudo económico da primeira solução apresentada para a ilha do Faial

Equipamentos	Custos	
	Custo Unitário	Custo Total
Painéis Policristalinos	0,2 €/W	≈2800 k€
Turbinas Eólicas	≈1 M€/MW	≈10 M€
Transporte Média Tensão 8 km (cabos de alumínio)	≈20€/m	≈160 k€
Baterias	≈275 €/kW	≈2188,43 k€
Inversores - Painéis Fotovoltaicos	≈500 €	≈5000 k€
Controladores de Carga	≈370 €	≈3700 k€
Inversores - Central Baterias	≈120 k€	≈600 k€
Transformadores 4,5 MVA	≈25 k€	≈100 k€
Transformadores 4 MVA	≈20 k€	≈40 k€
Transformadores 2 MVA	≈10 k€	≈10 k€
Transformadores 3 MVA	≈15 k€	≈75 k€
Proteções TPU S430	≈2650 €	≈5300 €
Proteções TPU D500	≈10000 €	≈20 k€
Instalações / Transportes de equipamentos	-	≈1235 k€
Outros Custos	-	≈518,7 k€
Preço Total (€)	-	≈26,5 M€

Na segunda solução apresentada na tabela 4.22, ou seja, a solução com os painéis de Telureto de Cádmio. Nesta tabela mudam o custos dos painéis utilizados, sendo que estes irão cobrir as fachadas das casas. Consequentemente, também irão mudar os custos associados aos controladores de carga

e transformadores. Não será necessário ter em consideração o custo associado às Proteções TPU S430.

Tabela 4.22: Estudo económico da segunda solução apresentada para a ilha do Faial

Equipamentos	Custos	
	Custo Unitário	Custo Total
Painéis PS-CT-56	0,4 €/W	≈1328,23 k€
Inversores - Painéis Fotovoltaicos	≈500 €	≈1853 k€
Controladores de Carga	≈370 €	≈1371,22 k€
Transformadores 5 kVA	≈400 €	≈1482,4 k€
...
Instalações / Transportes de equipamentos	-	≈956,5 k€
Outros Custos	-	≈401,7 k€
Preço Total (€)	-	≈20,5 M€

Segundo os dados de consumo do documento [2], verifica-se que o consumo total da ilha do Faial em 2018 foi de 43,78 GWh. Assim e observando os dados apresentados na tabela 4.23, conclui-se que as receitas totais da eletricidade para o ano de 2018 foi de 4734931,92 €.

Tabela 4.23: Custo total da electricidade no Faial relativamente ao ano de 2018

	Horas de Ponta	Horas de Cheia	Horas de Vazio
Média Tensão	287455,3	611509,4	421274,8
Baixa Tensão	679708,6	1484649,4	971813,1
Iluminação Pública	70261	129701,2	78559,2

4.1.8 Flores

Segundo os dados de consumo do documento [2], verifica-se que o consumo total da ilha das Flores em 2018 foi de 10,86 GWh. Assim e observando os dados apresentados na tabela 4.24, conclui-se que as receitas totais da eletricidade para o ano de 2018 foi de 1198793,08 €.

Tabela 4.24: Custo total da electricidade nas Flores relativamente ao ano de 2018

	Horas de Ponta	Horas de Cheia	Horas de Vazio
Média Tensão	54923,4	116839,6	80491,9
Baixa Tensão	180215,4	393634,3	257662,8
Iluminação Pública	29016,9	53564,9	32443,9

De seguida será apresentado o investimento total inicial do projeto para as duas soluções apresentadas no capítulo anterior. Na tabela 4.25 estão os custos detalhados para primeira solução, ou seja, a solução com os painéis policristalinos.

Tabela 4.25: Estudo económico da primeira solução apresentada para a ilha das Flores

Equipamentos	Custos	
	Custo Unitário	Custo Total
Painéis Policristalinos	0,2 €/W	≈560 k€
Turbinas Eólicas	≈1 M€/MW	≈450 k€
Transporte Média Tensão 5 km (cabos de alumínio)	≈20€/m	≈100 k€
Baterias	≈275 €/kW	≈531,65 k€
Inversores - Painéis Fotovoltaicos	≈500 €	≈1000 k€
Controladores de Carga	≈370 €	≈740 k€
Inversores - Central Baterias	≈120 k€	≈120 k€
Transformadores 4,5 MVA	≈25 k€	≈25 k€
Transformadores 500 kVA	≈2,5 k€	≈2,5 k€
Transformadores 3 MVA	≈15 k€	≈30 k€
Proteções TPU S430	≈2650 €	≈5300 €
Proteções TPU D500	≈10000 €	≈20 k€
Instalações / Transportes de equipamentos	-	≈179,3 k€
Outros Custos	-	≈75,3 k€
Preço Total (€)	-	≈3,9 M€

Na segunda solução apresentada na tabela 4.26, ou seja, a solução com os painéis de Telureto de Cádmio. Nesta tabela mudam os custos dos painéis utilizados, sendo que estes irão cobrir as fachadas das casas. Consequentemente, também irão mudar os custos associados aos controladores de carga e transformadores. Também, comparando com a tabela 4.25, não será necessário ter em consideração o custo associado às Proteções TPU S430.

Tabela 4.26: Estudo económico da segunda solução apresentada para a ilha das Flores

Equipamentos	Custos	
	Custo Unitário	Custo Total
Painéis PS-CT-56	0,4 €/W	≈331,16 k€
Inversores - Painéis Fotovoltaicos	≈500 €	≈462 k€
Controladores de Carga	≈370 €	≈341,88 k€
Transformadores 5 kVA	≈400 €	≈369,6 k€
...
Instalações / Transportes de equipamentos	-	≈138 k€
Outros Custos	-	≈58 k€
Preço Total (€)	-	≈3 M€

4.1.9 Corvo

De seguida será apresentado o investimento total inicial do projeto para as duas soluções apresentadas no capítulo anterior. Na tabela 4.27 estão os custos detalhados para primeira solução.

Tabela 4.27: Estudo económico da primeira solução apresentada para a ilha do Corvo

Equipamentos	Custos	
	Custo Unitário	Custo Total
Painéis Policristalinos	0,2 €/W	≈168 k€
Turbinas Eólicas	≈1 M€/MW	≈300 k€
Transporte Média Tensão 2 km (cabos de alumínio)	≈20€/m	≈40 k€
Baterias	≈275 €/kW	≈86,55 k€
Inversores - Painéis Fotovoltaicos	≈500 €	≈300 k€
Controladores de Carga	≈370 €	≈222 k€
Inversores - Central Baterias	≈120 k€	≈120 k€
Transformadores 4,5 MVA	≈25 k€	≈25 k€
Transformadores 500 kVA	≈2,5 k€	≈2,5 k€
Transformadores 3 MVA	≈15 k€	≈15 k€
Proteções TPU S430	≈2650 €	≈5300 €
Proteções TPU D500	≈10000 €	≈20 k€
Instalações / Transportes de equipamentos	-	≈65,3 k€
Outros Custos	-	≈27,4 k€
Preço Total (€)	-	≈1,4 M€

Na segunda solução apresentada na tabela 4.28, ou seja, a solução com os painéis de Telureto de Cádmio. Nesta tabela mudam os custos dos painéis utilizados, sendo que estes irão cobrir as fachadas das casas. Consequentemente, também irão mudar os custos associados aos controladores de carga e transformadores. Não será necessário ter em consideração o custo das Proteções TPU S430.

Tabela 4.28: Estudo económico da segunda solução apresentada para a ilha do Corvo

Equipamentos	Custos	
	Custo Unitário	Custo Total
Painéis PS-CT-56	0,4 €/W	≈40,86 k€
Inversores - Painéis Fotovoltaicos	≈500 €	≈57 k€
Controladores de Carga	≈370 €	≈42,18 k€
Transformadores 5 kVA	≈400 €	≈45,6 k€
...
Instalações / Transportes de equipamentos	-	≈38,5 k€
Outros Custos	-	≈16,2 k€
Preço Total (€)	-	≈0,9 M€

Segundo os dados de consumo do documento [2], verifica-se que o consumo total da ilha do Corvo em 2018 foi de 1,44 GWh. Assim e observando os dados apresentados na tabela 4.29, conclui-se que as receitas totais da eletricidade para o ano de 2018 foi de 160904,47 €.

Tabela 4.29: Custo total da electricidade no Corvo relativamente ao ano de 2018

	Horas de Ponta	Horas de Cheia	Horas de Vazio
Média Tensão	2182,2	4642,2	3198
Baixa Tensão	31456,9	68709,6	44975,6
Iluminação Pública	1448	2673	1619

4.2 Análise dos Resultados

De modo a avaliar o investimento feito em cada projeto dimensionado, calculou-se o respetivo VAL, LCOE e tempo de retorno para a solução 1 e 2. O aumento da penetração de renováveis é vantajoso, pois o custo da electricidade produzida é inferior ao praticado atualmente na região. Também se verifica que LCOE aumenta com o aumento da penetração de renováveis. Os resultados apresentados na tabela 4.30 encontram-se diretamente relacionados com as capacidades e potências dos sistemas instalados.

Tabela 4.30: Resumo dos dados que avaliam o investimento feito em cada ilha para as soluções apresentadas

Ilhas	<i>1ª Solução</i>			<i>2ª Solução</i>		
	VAL	LCOE (€/MWh)	Retorno (anos)	VAL	LCOE (€/MWh)	Retorno (anos)
S.Mar	3958548	97,84	8,15	7958547,55	68,19	5,68
S.Mig	74188252	52,12	7,06	-85111748,19	108,07	14,64
Ter	24946080	75,04	8,33	50146079,52	54,42	6,04
Grw	2494961	33,94	6,11	3294960,84	21,46	3,86
S.Jge	8330208	103,44	7,39	7630207,50	107,21	7,66
Pic	14973470	91,57	6,76	21373470,20	69,37	5,12
Fai	15134351	87,41	6,74	21134350,58	67,62	5,22
Flo	1053005	51,83	8,34	1953004,87	39,87	6,42
Cor	304621	140	8,70	804621,46	90	5,59

Conclui-se que todos os projetos propostos são praticáveis, pois o Valor Atual Líquido é superior a zero, ou seja, o investimento é recuperado (a taxa mínima de retorno de capital é alcançada e ainda um excedente). Observa-se consequentemente que o tempo de retorno, dada a dimensão destes projetos, é baixo mesmo que este estudo seja ainda muito inicial verifica-se que, já é possível retirar algumas conclusões positivas relativamente à implementação dos projetos.

Em certas ilhas a solução dos painéis de telureto de cádmio é mais vantajosa, no entanto a potência instalada com esta solução é menor. Para além disso acaba por implicar uma logística maior, pois seria necessário falar com os moradores e mudar os vidros das casas habitadas por painéis, não estando o parque fotovoltaico concentrado numa boa localização de irradiação tornando assim mais difícil a gestão energética. Os preços de instalação também seriam muito superiores. É importante referir que os

custos referidos não incluem os serviços auxiliares que permitem alimentar a central e as subestações.

4.3 Impactos Sócio-Económicos

Após apresentar um estudo sobre várias fontes de energia renovável, pode-se afirmar que o impactos positivos mais óbvios são os ambientais. Embora também seja necessário referir a importância dos impactos sociais e económicos para o arquipélago dos Açores.

No impactos positivos, destacam-se os seguintes: Fornecimento de energia para áreas descentralizadas e fora da rede de baixa densidade; Independência energética de importações; Diversificação; Criação de empregos. Nos negativos, destacam-se os seguintes: Exigência de armazenamento de energia para fornecimento contínuo; Problemas intermitentes de fornecimento.

As emissões associadas ao processamento de matérias-primas também são a razão do aumento de impactos ambientais nas categorias ecotoxicidade e eutrofização da água doce, bem como toxicidade humana. A reciclagem de recursos metálicos após o descomissionamento dos componentes do sistema pode ser uma opção interessante para reduzir a demanda por recursos metálicos primários e, assim, melhorar o desempenho ambiental total dos sistemas de eletricidade renováveis. [21]

Em resumo, estes sistemas híbridos isolados podem trazer mais benefícios do que contras. A indústria, a economia e o meio ambiente beneficiam, pois as emissões de CO_2 relativas à central diesel são reduzidas tendo efeitos a longo prazo. Relativamente à segurança do fornecimento de energia há melhorias a médio prazo.

5

Conclusão

A produção de energia com combustíveis fósseis por vezes não é viável, devido aos problemas ambientais, custos e por vezes até dificuldade no transporte para locais remotos como ilhas, em alternativa existem as energias renováveis, e é aqui que se enquadra o tema desta dissertação.

Foi desenvolvida uma micro-rede isolada baseada nas 9 ilhas dos Açores. O objetivo baseou-se em substituir a central termoelétrica a diesel por um sistema de energia híbrida composto por turbinas eólica, painéis fotovoltaicos e um sistema de armazenamento, sendo que a ligação do parque eólico à carga é feita em MT. O trabalho desenvolvido permitiu compreender a importância deste tipo de projetos, considerando fatores importantes tais como o crescimento do consumo de electricidade, disponibilidade de fontes endógenas de energia e a segurança do abastecimento de electricidade.

Primeiro fez-se o dimensionamento dos vários componentes que constituíram o sistema de modo a assegurar fornecimento de energia durante um ano, vendo a produção mensal do sistema. Dimensionou-se a instalação fotovoltaica tendo em conta as características de irradiação solar do local. Relativamente aos dados para o dimensionamento do parque eólico os dados retirados foram os da ilha Graciosa sendo aplicados para as restantes, dado que a variação era pouca.

No funcionamento da rede foi definido que o armazenamento será feito através de um sistema energético híbrido, pois permite que continue conectado à rede elétrica. No entanto, os sistemas híbridos dão prioridade ao uso da electricidade armazenada nas baterias sobre a electricidade da rede. A central de baterias é a única das três instalações que tem um funcionamento contínuo. A irradiação solar e a velocidade do vento possuem um carácter estocástico, consequentemente a turbina eólica e os painéis fotovoltaicos apenas injetarão potência na rede para alimentar a carga e carregar a bateria em condições normais de funcionamento.

Na fonte fotovoltaica ao nível do inversor utilizou-se um regulador da tensão DC sendo que foram avaliadas duas soluções de implementação com painéis policristalinos e com painéis de telureto de cádmio. Observou-se que os painéis de telureto de cádmio não conseguem ter a potência necessária para as ilhas e como implicam maiores custos de implementação chega-se à conclusão que o parque fotovoltaico com painéis policristalinos seria a melhor opção.

Definiu-se a turbina com base na velocidade do vento, o perfil de potência da turbina selecionada e ainda a necessidade energética da ilha. O modelo da turbina eólica foi feito com base nos dados de velocidade do vento, assim como o perfil de potência da turbina escolhida. Por fim, testou-se os modelos para as situações de carga de cada ilha, e diferentes composições da rede.

Os sistemas de produção dimensionados são fiavelmente económicos, permitem garantir as necessidades energéticas das ilhas e proporcionam condições para que o desenvolvimento socioeconómico local, através de menores custos de abastecimento eléctrico, maior segurança do mesmo e um impacto ambiental substancialmente reduzido.

Bibliografia

- [1] Blechinger, P. Cader, C. Bertheau, P. Huyskens, H. Seguin, R. Breyer, C., "Global analysis of the techno-economic potential of renewable energy hybrid systems on small island," 2016, 98 pp. 674-687.
- [2] "EDA, POEE *Procura e Oferta de Energia Elétrica, dezembro 2018*," <https://www.eda.pt/Mediateca/Publicacoes/Producao>, acesso em Abril 2019.
- [3] "EDA, CARE *"Caraterização das Redes de Transporte e Distribuição de Energia Elétrica em 2016"*," <https://www.eda.pt/Regulacao/Paginas/RegulamentoAcessoRedesInterligacoes.aspx>, acesso em Abril 2019.
- [4] "Arquivo climático," www.meteoblue.com, acesso em Março 2019.
- [5] "Graciolica - Greensmith," <https://www.wartsila.com/media/news/04-01-2018-greensmith-energy-will-help-reduce-greenhouse-gas-emissions-in-the-azores-2095653>, acesso em Setembro 2019.
- [6] Sónia Pinto, Artur Sousa, "Ilha sustentável," 2018, instituto Superior Técnico.
- [7] "Google earth," <https://earth.google.com/web/>.
- [8] Prof. Selênio Rocha Silva, *Tecnologia em Aerogeradores*. Universidade Federal do Paraná (UFPR), 2013, vol. pp. 11-15.
- [9] "Inversor SMA - SCS2475," <https://drive.google.com/drive/folders/1t516Mg0TR39pPCNsUI3cpn2w2tAdzmfM?usp=sharing>, acesso em Agosto 2019.
- [10] "EDA, POEE *Procura e Oferta de Energia Elétrica, janeiro 2019*," <https://www.eda.pt/Mediateca/Publicacoes/Producao>, acesso em Abril 2019.
- [11] "EDA, POEE *Procura e Oferta de Energia Elétrica, agosto 2018*," <https://www.eda.pt/Mediateca/Publicacoes/Producao>, acesso em Abril 2019.

- [12] “EDA, POEE *Procura e Oferta de Energia Elétrica, agosto 2013*,” <https://www.eda.pt/Mediateca/Publicacoes/Producao>, acesso em Abril 2019.
- [13] “EDA, POEE *Procura e Oferta de Energia Elétrica, janeiro 2013*,” <https://www.eda.pt/Mediateca/Publicacoes/Producao>, acesso em Abril 2019.
- [14] “EDA, POEE *Procura e Oferta de Energia Elétrica, agosto 2006*,” <https://www.eda.pt/Mediateca/Publicacoes/Producao>, acesso em Abril 2019.
- [15] “EDA, POEE *Procura e Oferta de Energia Elétrica, janeiro 2006*,” <https://www.eda.pt/Mediateca/Publicacoes/Producao>, acesso em Abril 2019.
- [16] “Sistema de informação geográfica fotovoltaica,” re.jrc.ec.europa.eu, acesso em Abril 2019.
- [17] “Transformadores de distribuição a óleo, ABB,” <https://drive.google.com/drive/folders/1t516Mg0TR39pPCNsUI3cpn2w2tAdzmfM?usp=sharing>, acesso em Agosto 2019.
- [18] “EDA, Preçário 2019,” <https://www.eda.pt/Clientes/AMinhaEmpresa/Paginas/TarifasPrecos.aspx>, acesso em Setembro 2019.
- [19] Recenseamento geral da população, “Censos 2011, região autónoma dos açores,” 2011, resultados definitivos.
- [20] “Relatório do estado do ordenamento do território da região autónoma dos açores,” <https://www.azores.gov.pt/Gra/srrn-drotrh/conteudos/projectos/2009/Abril/REOTA+2003.htm?lang=pt&area=ct>, acesso em Março 2019.
- [21] Stenzel, Peter , Schreiber, Andrea , Marx, Josefine , Wulf, Christina , Schreieder, Michael , Stephan, Lars, “Renewable energies for graciosa island, azores-life cycle assessment of electricity generation,” 2017, energy Procedia.
- [22] “Estudo - king island,” <https://www.hydro.com.au/clean-energy/hybrid-energy-solutions/success-stories/king-island>, acesso em Setembro 2019.
- [23] Kaldellis, J K , Zafirakis, D , Kaldelli, E L , Kavadias, K , “Cost benefit analysis of a photovoltaic-energy storage electrification solution for remote islands,” 2009, renewable Energy.
- [24] Recenseamento geral da população, “Censos 2001, região autónoma dos açores,” 2001, resultados definitivos.
- [25] —, “Censos 1991, região autónoma dos açores,” 1991, resultados definitivos.
- [26] “Soda, dados de radiação solar,” <http://www.soda-pro.com/>, acesso em Março 2019.

- [27] “Proteções Efacec,” <https://drive.google.com/drive/folders/1t516Mg0TR39pPCNsUI3cpn2w2tAdzmfM?usp=sharing>, acesso em Agosto 2019.
- [28] “Enf - preços equipamentos,” <https://www.ensolar.com>, acesso em Agosto 2019.
- [29] “Painéis Policristalinos, Axitec.”
- [30] “Solarwatt - painéis policristalinos 280wp,” <https://drive.google.com/drive/folders/1t516Mg0TR39pPCNsUI3cpn2w2tAdzmfM?usp=sharing>, acesso em Maio 2019.
- [31] “Sistema de classificação por níveis de módulos fotovoltaicos da bloomberg new energy finance,” <https://review.solar/latest-tier-1-solar-panels-list-2019/>, acesso em Maio 2019.
- [32] “Inversor SMA - Sunny Boy 1.5,” <https://drive.google.com/drive/folders/1t516Mg0TR39pPCNsUI3cpn2w2tAdzmfM?usp=sharing>, acesso em Junho 2019.
- [33] “Charge Controller MPPT 150-35, Bluesolar,” <https://drive.google.com/drive/folders/1t516Mg0TR39pPCNsUI3cpn2w2tAdzmfM?usp=sharing>, acesso em Agosto 2019.
- [34] J. Jean, P. R. Brown, R. L. Jaffe, T. Buonassisi, and V. Bulovic, *Pathways for solar photovoltaics*. Energy and Environmental Science, 2015, vol. 8, no. 4, pp. 1200–1219.
- [35] M. J. De Wild-Scholten, *Energy payback time and carbon footprint of commercial photovoltaic systems*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2013, vol. 119, pp. 296–305.
- [36] C. Silvi, *The Future of Solar Energy*. Leonardo, 2006, vol. 28, no. 4, p. 325.
- [37] “Polysolar, “ps-ct transparent panels.”,” <http://www.polysolar.co.uk>, acesso em Maio 2019.
- [38] Miguel Doutor, Ferreira Cabral, Flávio, Jorge, “Utilização de baterias de íões de lítio em sistemas de armazenamento de energia,” 2016, instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- [39] “Portal solar,” <https://www.portalsolar.com.br>, acesso em Março 2019.
- [40] “Portal de energia - fabricantes de turbinas eólicas,” <https://www.portal-energia.com/vestas-maior-fabricante-turbinas-eolicas-147257/>, acesso em Abril 2019.
- [41] “GARBI 150/28, Electria Wind,” <https://drive.google.com/drive/folders/1t516Mg0TR39pPCNsUI3cpn2w2tAdzmfM?usp=sharing>, acesso em Abril 2019.



Anexos

A.1 Características principais da rede

A.1.1 Santa Maria

Tabela A.1: Características da Rede [3]

Carga Máxima	$P_{max}[MW]$	3,49
	$Q_{max}[Mvar]$	1,45
Energia Anual Produzida [GWh]		20,65
Energia Média Diária [MWh]		56,56
Potência Média Diária [MW]		2,36

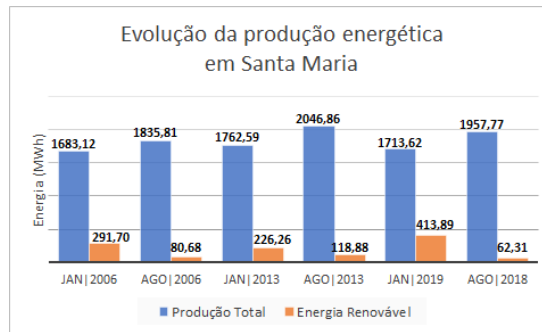


Figura A.1: Evolução da produção total de energia e respetiva quantidade de energias renováveis em Santa Maria [10] [11] [12] [13] [14] [15]

A.1.2 Terceira

Tabela A.2: Características da Rede [3]

Carga Máxima	$P_{max}[MW]$	74,7
	$Q_{max}[Mvar]$	24,33
Energia Anual Produzida [GWh]		190,76
Energia Média Diária [MWh]		522,64
Potência Média Diária [MW]		21,78

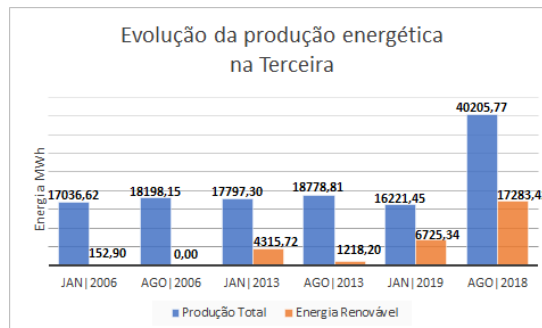


Figura A.2: Evolução da produção total de energia e respetiva quantidade de energias renováveis na Terceira [10] [11] [12] [13] [14] [15]

A.1.3 Graciosa

Tabela A.3: Características da Rede [3]

Carga Máxima	$P_{max}[MW]$	2,36
	$Q_{max}[Mvar]$	0,73
Energia Anual Produzida [GWh]		13,44
Energia Média Diária [MWh]		36,82
Potência Média Diária [MW]		1,53

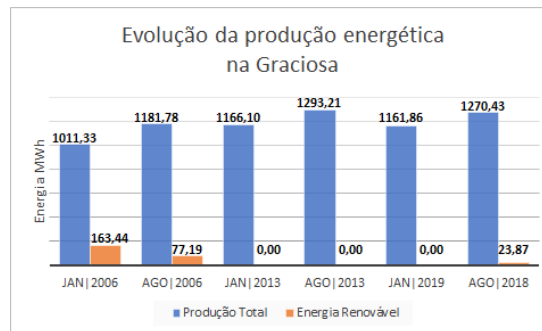


Figura A.3: Evolução da produção total de energia e respetiva quantidade de energias renováveis na Graciosa [10] [11] [12] [13] [14] [15]

A.1.4 São Jorge

Tabela A.4: Características da Rede [3]

Carga Máxima	$P_{max}[MW]$	3,5
	$Q_{max}[Mvar]$	1,07
Energia Anual Produzida [GWh]		28,90
Energia Média Diária [MWh]		79,18
Potência Média Diária [MW]		3,30

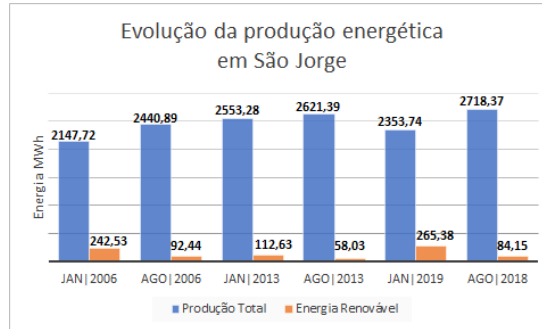


Figura A.4: Evolução da produção total de energia e respetiva quantidade de energias renováveis em São Jorge [10] [11] [12] [13] [14] [15]

A.1.5 Pico

Tabela A.5: Características da Rede [3]

Carga Máxima	$P_{max}[MW]$	14,11
	$Q_{max}[Mvar]$	6,02
Energia Anual Produzida [GWh]		44,87
Energia Média Diária [MWh]		122,94
Potência Média Diária [MW]		5,12

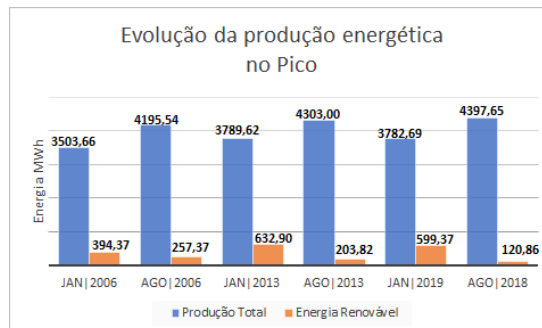


Figura A.5: Evolução da produção total de energia e respetiva quantidade de energias renováveis no Pico [10] [11] [12] [13] [14] [15]

A.1.6 Faial

Tabela A.6: Caraterísticas da Rede [3]

Carga Máxima	$P_{max}[MW]$	7,15
	$Q_{max}[Mvar]$	3,32
Energia Anual Produzida [GWh]		46,32
Energia Média Diária [MWh]		122,94
Potência Média Diária [MW]		5,12

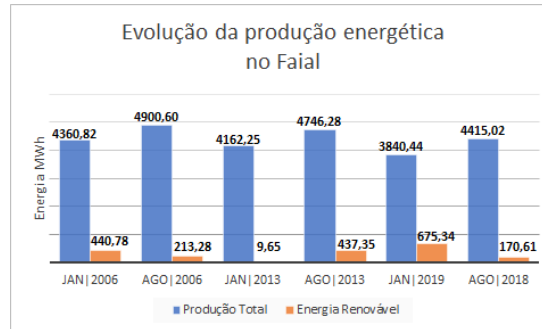


Figura A.6: Evolução da produção total de energia e respetiva quantidade de energias renováveis no Faial [10] [11] [12] [13] [14] [15]

A.1.7 Flores

Tabela A.7: Caraterísticas da Rede [3]

Carga Máxima	$P_{max}[MW]$	2,93
	$Q_{max}[Mvar]$	1,07
Energia Anual Produzida [GWh]		11,38
Energia Média Diária [MWh]		31,19
Potência Média Diária [MW]		1,30

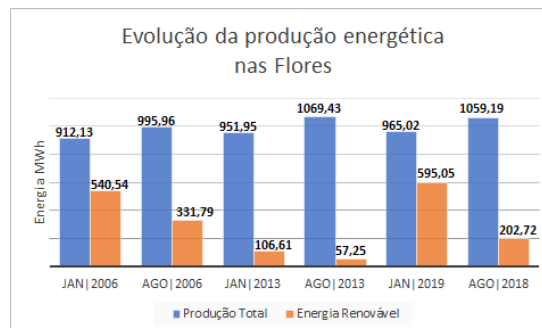


Figura A.7: Evolução da produção total de energia e respetiva quantidade de energias renováveis na Flores [10] [11] [12] [13] [14] [15]

A.1.8 Corvo

Tabela A.8: Características da Rede [3]

Carga Máxima	$P_{max}[kW]$	313
	$Q_{max}[kvar]$	82
Energia Anual Produzida [GWh]		1,56
Energia Média Diária [MWh]		4,28
Potência Média Diária [kW]		178,40

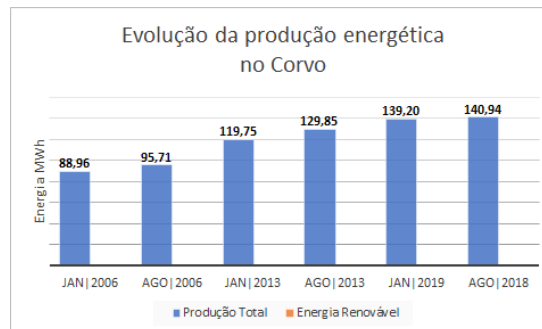


Figura A.8: Evolução da produção total de energia e respetiva quantidade de energias renováveis no Corvo [10] [11] [12] [13] [14] [15]

A.2 Dados para dimensionamento de painéis fotovoltaicos

A.2.1 Santa Maria

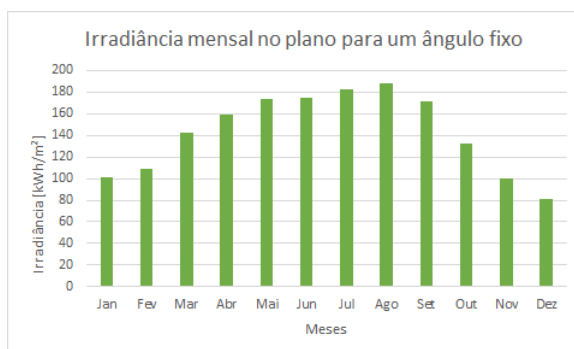


Figura A.9: Irradiância média mensal [16]

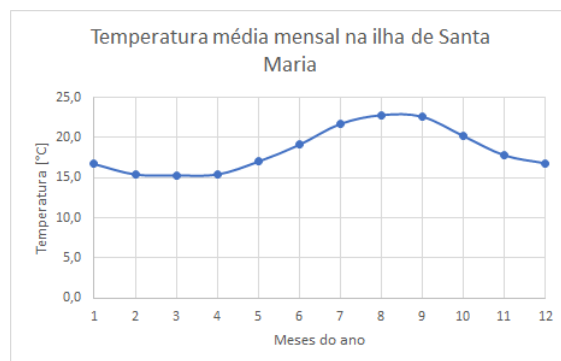


Figura A.10: Temperatura média mensal [16]

A.2.2 Terceira

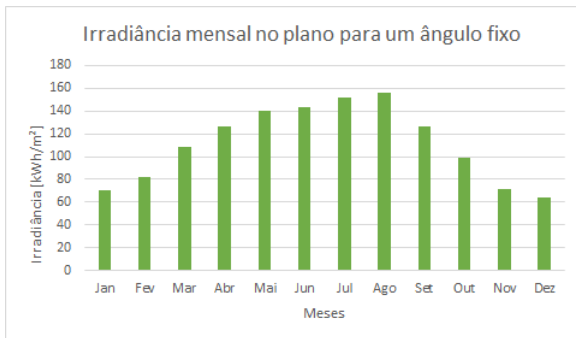


Figura A.11: Irradiância média mensal [16]

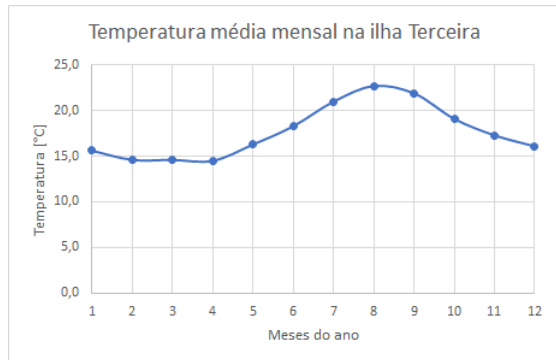


Figura A.12: Temperatura média mensal [16]

A.2.3 Graciosa

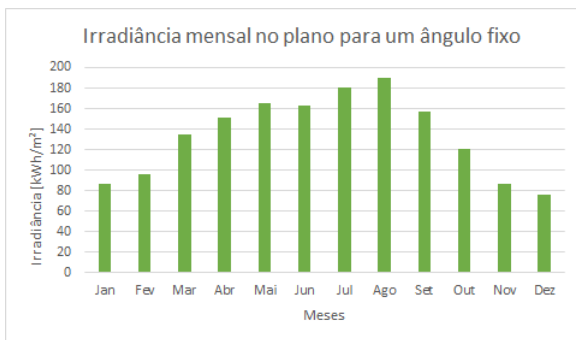


Figura A.13: Irradiância média mensal [16]

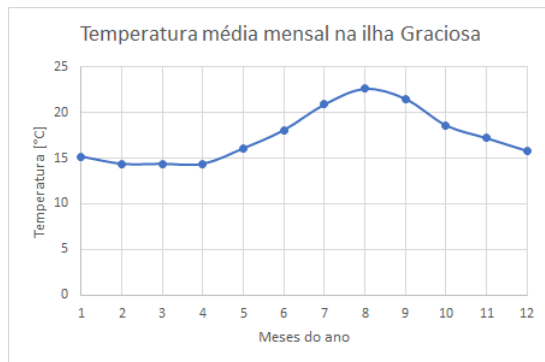


Figura A.14: Temperatura média mensal [16]

A.2.4 São Jorge

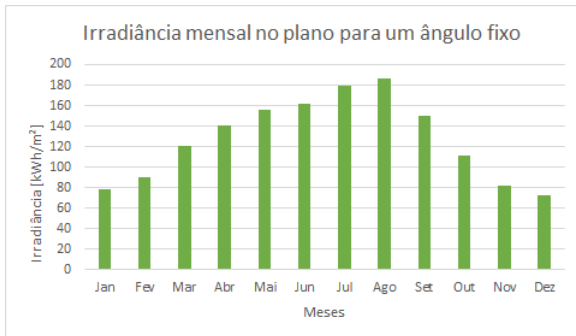


Figura A.15: Irradiância média mensal [16]

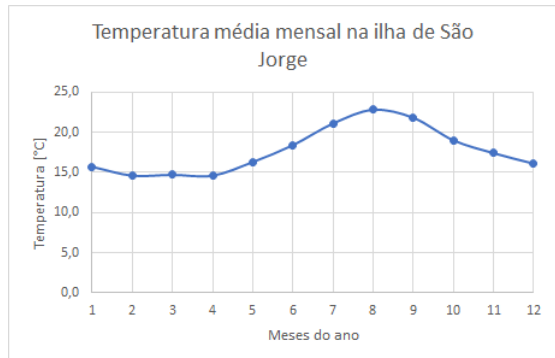


Figura A.16: Temperatura média mensal [16]

A.2.5 Pico

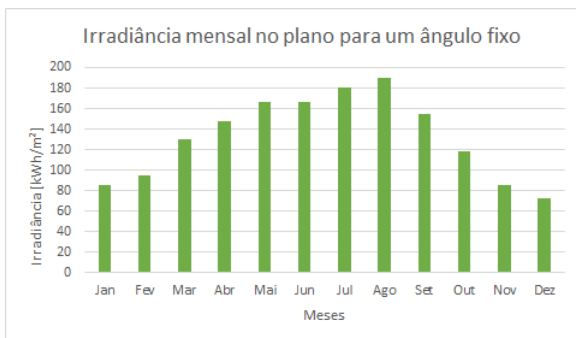


Figura A.17: Irradiância média mensal [16]

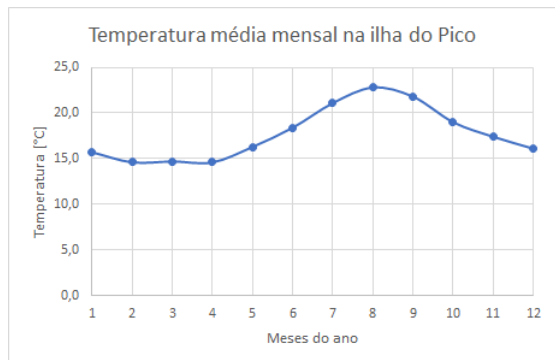


Figura A.18: Temperatura média mensal [16]

A.2.6 Faial

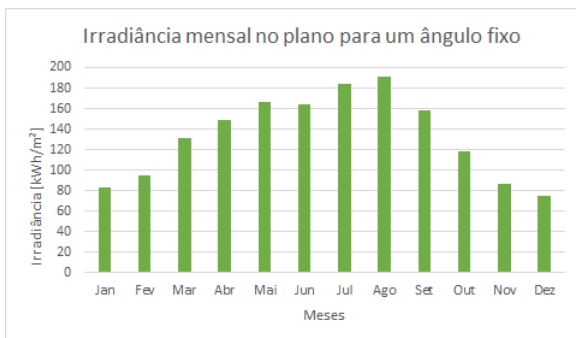


Figura A.19: Irradiância média mensal [16]

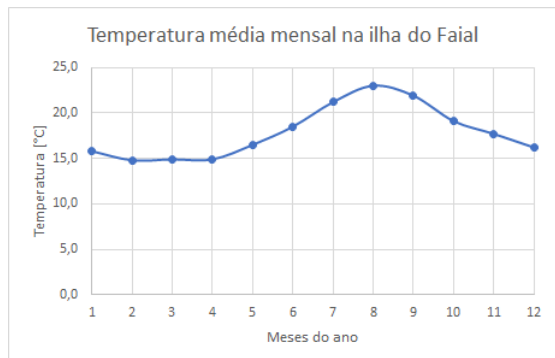


Figura A.20: Temperatura média mensal [16]

A.2.7 Flores

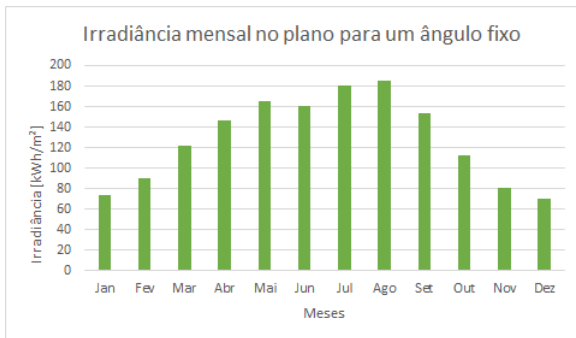


Figura A.21: Irradiância média mensal [16]

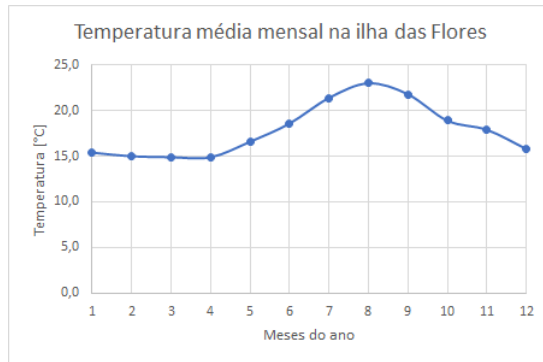


Figura A.22: Temperatura média mensal [16]

A.2.8 Corvo

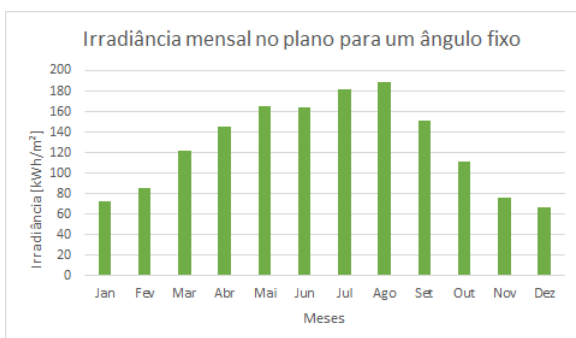


Figura A.23: Irradiância média mensal [16]

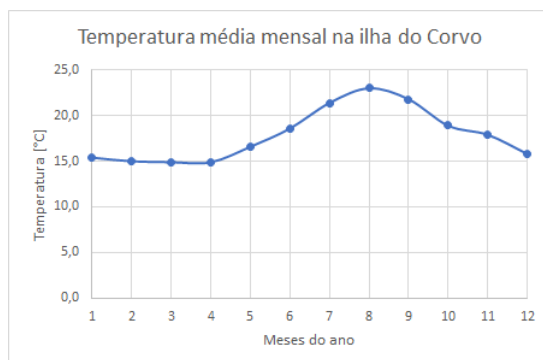


Figura A.24: Temperatura média mensal [16]

A.3 Localização do Sistema Híbrido

A.3.1 Santa Maria

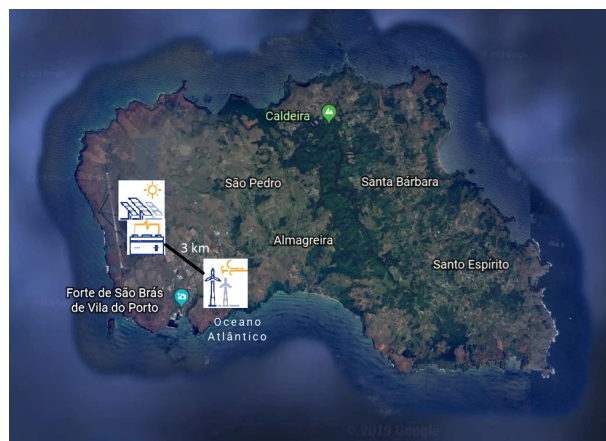


Figura A.25: Localização do sistema híbrido na ilha de Santa Maria [7]

A.3.2 Terceira

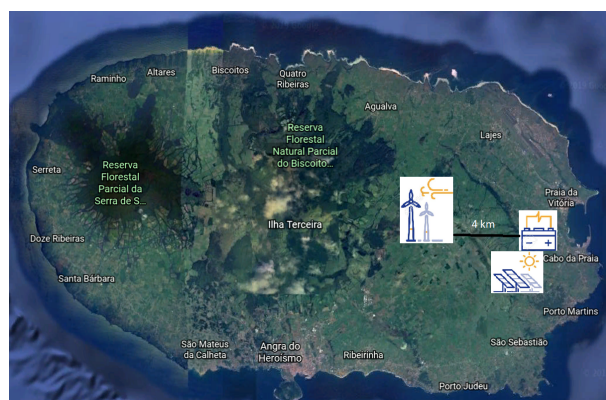


Figura A.26: Localização do sistema híbrido na ilha Terceira [7]

A.3.3 Graciosa



Figura A.27: Representação do sistema híbrido na ilha Graciosa [39]

A.3.4 São Jorge

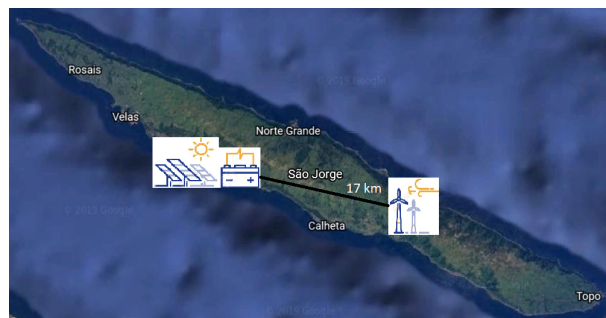


Figura A.28: Localização do sistema híbrido na ilha de São Jorge [7]

A.3.5 Pico

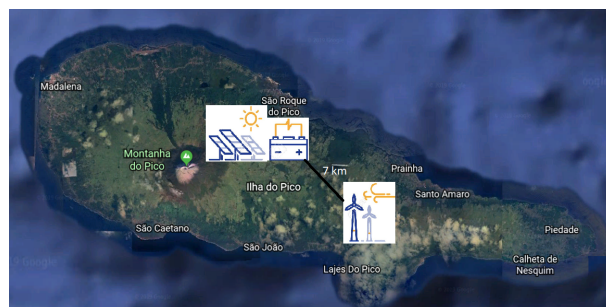


Figura A.29: Localização do sistema híbrido na ilha do Pico [7]

A.3.6 Faial

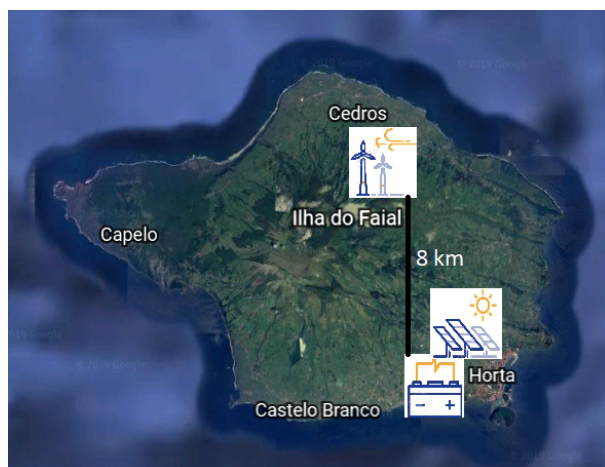


Figura A.30: Localização do sistema híbrido na ilha do Faial [7]

A.3.7 Flores

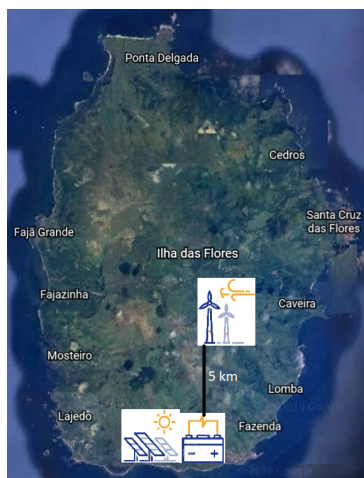


Figura A.31: Localização do sistema híbrido na ilha das Flores [7]

A.3.8 Corvo

O Corvo é a única ilha que atualmente não tem parque eólico, assim o local sugerido foi um lugar alto, com um terreno pouco acidentado e perto da costa do lado sudoeste da ilha (1.13).



Figura A.32: Localização do sistema híbrido na ilha do Corvo [7]

A.4 Custos Parâmetros Técnicos [1]

Tabela A.9: Resumo de parâmetros técnicos e económicos do projeto

Tecnologia	Parâmetro	Valor	Unidade
Parque Fotovoltaico	Manutenção	36,36	€/(<i>kW</i> ano)
Parque Eólico	Manutenção	90,09	€/(<i>kW</i> ano)
Baterias	Manutenção	9,09	€/(<i>kW</i> ano)
Outros	Correções no desenvolvimento do projeto	45448,5	€/(<i>kW</i> ano)

A.5 Custo das Baterias de Iões de Lítio

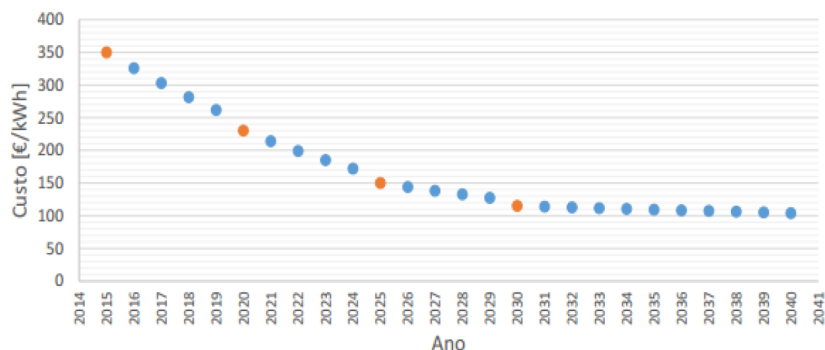


Figura A.33: Previsões dos custos das baterias íões de lítio (€/kWh) - Monteiro, Diogo “Dimensionamento de um Sistema de Armazenamento de Energia para Edifícios Residenciais Utilizando Energia Solar Fotovoltaica”, Dissertação de Mestrado, UC 2017.

A.6 Descrição das Baterias da LG Chem

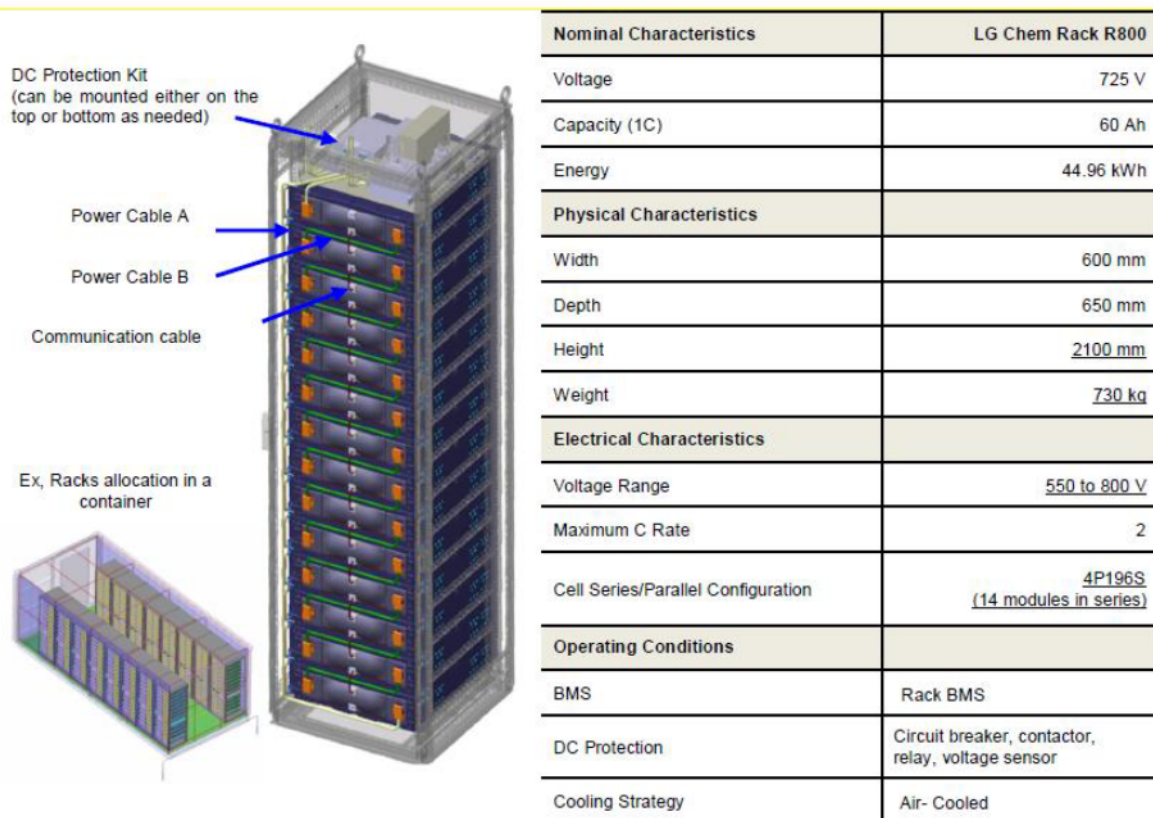


Figura A.34: Caraterísticas nominais

A.7 Percentagem de consumo energético anual no arquipélago (dados relativos a 2018) [2]

Tabela A.10: Consumo energético na em Santa Maria

Média Tensão	Geral	32,2%
Baixa Tensão	Geral	59,8%
	Iluminação Pública	8%

Tabela A.11: Consumo energético em São Miguel

Média Tensão	Geral	41%
Baixa Tensão	Geral	55,2%
	Iluminação Pública	3,8%

Tabela A.12: Consumo energético na Terceira

Média Tensão	Geral	43%
Baixa Tensão	Geral	54,3%
	Iluminação Pública	2,7%

Tabela A.13: Consumo energético na Graciosa

Média Tensão	Geral	26,6%
Baixa Tensão	Geral	66,3%
	Iluminação Pública	7,1%

Tabela A.14: Consumo energético em São Jorge

Média Tensão	Geral	28,5%
Baixa Tensão	Geral	66,4%
	Iluminação Pública	5,1%

Tabela A.15: Consumo energético no Pico

Média Tensão	Geral	22,9%
Baixa Tensão	Geral	70,4%
	Iluminação Pública	6,7%

Tabela A.16: Consumo energético no Faial

Média Tensão	Geral	31,5%
Baixa Tensão	Geral	64,2%
	Iluminação Pública	4,3%

Tabela A.17: Consumo energético nas Flores

Média Tensão	Geral	24,3%
Baixa Tensão	Geral	68,5%
	Iluminação Pública	7,2%

Tabela A.18: Consumo energético no Corvo

Média Tensão	Geral	7,3%
Baixa Tensão	Geral	90%
	Iluminação Pública	2,7%