



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ângela Emílio Mendes Lopes

Planeamento Elétrico para Cabo Verde

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia de Sistemas

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Paula Varandas Ferreira

Outubro de 2016

DECLARAÇÃO

Nome: Ângela Emílio Mendes Lopes

Endereço eletrónico: annylopez94@hotmail.com Telefone: 962216761

Bilhete de Identidade/Cartão do Cidadão: 0B10B3759 (TR)

Título da dissertação:

Planeamento Elétrico para Cabo Verde

Orientadora:

Professora Doutora Paula Varandas Ferreira

Ano de conclusão: 2016

Designação do Mestrado:

Mestrado em Engenharia de Sistemas

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, ____/____/____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho reportado foi efetuado no Departamento de Produção e Sistemas da Escola de Engenharia da Universidade do Minho, a que devo um agradecimento pela oportunidade que me concedeu para a sua realização.

A forma final que o presente trabalho assume, constitui necessariamente o resultado dos esforços conjugados de um determinado número de pessoas. Portanto, aqui expresso o meu agradecimento a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, foram os pilares que me fizeram aguentar todas as horas de dedicação e esforço aplicadas a este trabalho.

Acima de tudo, agradeço a Deus pela força e coragem que me concedeu ao longo dos anos de estudo.

Terei de agradecer à minha orientadora, Professora Doutora Paula Varandas Ferreira, por ter sido a responsável pelo tema e também pelo incentivo, pela forma como me orientou, que foi decisiva para atenuar as minhas inexperiências e incertezas, bem como para despertar um olhar mais crítico e construtivo da questão da integração das fontes de energias renováveis no sistema elétrico de Cabo Verde, pela permanente disponibilidade manifestada e indispensável ajuda prestada durante o período da pesquisa, pelo modo cientificamente esclarecedor que respondeu às minhas dúvidas e problemas que surgiram durante a realização deste projeto, mas também, pela leitura atenta aos textos.

Quero deixar uma palavra de grande reconhecimento aos meus ex-professores, pela leitura do trabalho, pelas inúmeras sugestões e os comentários críticos e construtivos que permitiram enriquecer o seu conteúdo. De entre todos, não posso deixar de destacar, o Professor Doutor Manuel Cunha, o Professor Doutor José Miranda e o Professor Doutor Salvador Mota.

Tenho também de colocar em lugar de merecido destaque a minha amiga Susana, pela revisão muito cuidada de todos os documentos elaborados no percurso desta tese, mas principalmente, pela amizade e apoio incondicional sempre prestado em qualquer situação. Um agradecimento especial à Flávia pela ajuda que muito melhoraram o produto final.

Manifesto ainda a minha gratidão ao Ivaldino, amigo de sempre, pelo apoio na obtenção de dados essenciais ao desenvolvimento deste trabalho.

Também não me posso esquecer dos meus amigos que, embora não tenham contribuído diretamente para o trabalho, estiveram sempre presentes na retaguarda para me apoiar

psicologicamente e ajudar a ultrapassar os momentos mais complicados. A todos um muito obrigado por terem acreditado e por me terem feito acreditar.

Para terminar quero deixar uma nota de profundo reconhecimento à minha família: os meus pais e os meus irmãos que, embora distantes, em todo o seu apoio, compreensão e carinho, souberam criar as condições psicológicas e materiais indispensáveis à realização deste trabalho.

A todos, do fundo do meu coração, um muito obrigado.

RESUMO

Garantir o fornecimento de energia a preços acessíveis, melhorar a eficiência energética e reduzir as emissões de gases são algumas das prioridades dos governantes de diversos países do mundo. A prossecução destes objetivos energéticos tem despoletado interesses na exploração e aproveitamento das Fontes de Energia Renováveis (FER), na medida em que estes recursos assumem um papel crucial que não se relaciona apenas com a sustentabilidade energética dos países, reduzindo a sua dependência de combustíveis fósseis e a emissão de CO₂, mas também com o desenvolvimento económico e a consequente redução da pobreza, contribuindo assim de forma direta para um desenvolvimento mais sustentável.

Cabo Verde apresenta-se como um país extremamente deficitário em energia primária. A eletricidade produzida, maioritariamente pelo recurso aos derivados do petróleo é uma das principais razões pelas quais se vive atualmente um período de complexidade no setor elétrico do país. Portanto, reduzir a dependência energética externa é uma das principais metas para o futuro.

O presente trabalho pretende fazer uma leitura do estado do setor energético em Cabo Verde e tem como objetivo principal apresentar uma proposta de planeamento estratégico para o setor elétrico no país, através da elaboração de diferentes cenários possíveis com recurso às FER. Neste sentido, adotou-se um modelo de planeamento elétrico, de modo a incluir diferentes tipos de tecnologias renováveis, de acordo com o potencial do país e as necessidades elétricas estimadas para os próximos 20 anos. Foram simulados quatro cenários de mínimo custo, oferecendo cada um uma contribuição renovável diferente para a produção de eletricidade. O primeiro cenário considera as tecnologias renováveis e não renováveis já existentes em Cabo Verde, tendo como base os dados relativos ao ano 2015, período em que a contribuição total das FER para a geração de eletricidade foi cerca de 23%. Quanto aos outros três cenários, a percentagem das FER no sistema foi aumentada até se atingir os 100%.

Os resultados demonstram que o aumento das FER no sistema deverá conduzir a um aumento do custo. No entanto, será possível reduzir significativamente as emissões de CO₂ assim como a dependência energética do país. Torna-se também evidente a elevada sazonalidade dos recursos FER e em particular da fonte eólica resultando em excesso de produção nos diferentes cenários FER e demonstrando a importância do estudo de soluções de armazenamento adequados aos sistemas insulares.

Palavras-chave: Cabo Verde, Análise de cenários, Fontes de energias renováveis, Modelo de planeamento elétrico.

ABSTRACT

Ensuring the supply of affordable energy, improving energy efficiency and reducing greenhouse gas emissions are some of the priorities of the governments of several countries. The pursuit of these energy goals has triggered interest in the exploration and usage of Renewable Energy Sources (RES), given that these resources play a crucial role not only related to energy sustainability of countries, reducing its dependence on fossil fuels and CO₂ emissions, but also to economic development and the consequent reduction of poverty, thus contributing directly to a more sustainable development.

The shortage of primary energy in Cabo Verde is remarkable. Electricity combustion is the one of the main reasons why the country is experiencing a complex period in what concerns the electricity sector. Therefore, reducing external energy dependence is one of the main goals for the future.

This work intends to make a revision on the state of the energy sector in Cabo Verde establishing as main objective the presentation of an electricity planning proposal for the country through the design of possible scenarios supported on RES. An electricity planning model was adopted to include different RES technologies according to the assessed country potential and to the electricity demand forecasted for the next 20 years.

Four different scenarios were obtained, each one representing a possible RES contribution for electricity production. The first scenario includes renewable and non-renewable technologies already existing in Cabo Verde and supported on data for the year 2015, when RES contribution reached about 23%. As for the other three scenarios, the share of RES in the system was raised reaching 100%.

The results demonstrate that the increase of the RES in system will lead to an increase on the total cost of energy. However, both CO₂ emissions and external energy dependency of the country significantly decrease. The seasonality of the RES resources, and in particular of wind power, is put in evidence leading to excess of electricity generation for all RES scenarios and demonstrating the importance of further proceeding with the analysis including storage solutions well suited to insular systems.

Keywords: Cabo Verde, Scenarios analysis, Renewable energy sources, Electrical planning model.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract.....	ix
Lista de Tabelas.....	xiii
Lista de Figuras.....	xv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xvii
1. Introdução.....	1
1.1 Objetivo do Estudo.....	3
1.2 Organização da Dissertação.....	3
2. Caracterização do Sistema Elétrico de Cabo Verde.....	5
2.1 Caracterização de Cabo Verde.....	5
2.2 Estrutura de Mercado de Energia e Agentes do Setor.....	10
2.3 Situação Atual e Perspetivas Futuras.....	11
2.4 Energias Renováveis em Cabo Verde.....	20
2.5 Desafios do Setor Energético em Cabo Verde.....	28
3. Revisão da Literatura.....	33
3.1 Modelos de Planeamento Elétrico.....	33
3.2 Sistemas Isolados.....	36
3.3 Integração das Energias Renováveis.....	41
4. Modelo de Planeamento Elétrico.....	51
4.1 Aplicação ao Caso de Cabo Verde.....	51
4.2 Recolha de Dados.....	53
4.3 Adaptação do Modelo de Planeamento Elétrico.....	54
4.4 Resultados.....	63
4.5 Análise dos resultados.....	70
5. Conclusão e Trabalho Futuro.....	81
Bibliografia.....	87
Anexo I – Zona de Desenvolvimento de Energia Eólica de Terras Altas.....	95
Anexo II – Zona de Desenvolvimento de Energia Eólica de Praia Baixo.....	95
Anexo III – Zona de Desenvolvimento de Energia Eólica de Monte de Chaminé.....	96
Anexo IV – Zona de Desenvolvimento de Energia Eólica de Monte de São Felipe.....	96

Anexo V – Zona de Desenvolvimento de Energia Eólica de Achada de Ponta da Bomba	97
Anexo VI – Zona de Desenvolvimento de Energia Eólica de Achada Ribeira Pedro	97
Anexo VII – Zona de Desenvolvimento de Energia Solar de Achada Bela Costa	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Potencial renovável (eólica e solar) instalada em alguns Estados membros da CEDEAO.....	21
Tabela 2 - Repartição por ilha/tecnologia da potência dos projetos renováveis identificados em Cabo Verde.....	26
Tabela 3 - Taxonomia de barreiras da integração de energia renováveis no sistema	49
Tabela 4 - Custo das unidades de energia existentes	56
Tabela 5 - Custo de novas unidades de energia	56
Tabela 6 - Emissão de CO ₂ (t/MWh)	57
Tabela 7 - Potência das unidades de energia instalada em Santiago (MW).....	58
Tabela 8 - Potencial das FER na ilha de Santiago (MW).....	59
Tabela 9 - Procura mensal de energia elétrica em 2015 (MWh).....	59
Tabela 10 - Fator disponibilidade mensal das FER na ilha de Santiago	62
Tabela 11 - Solução otimizado para o cenário BAU.....	63
Tabela 12 - Potência instalada de novas unidades de energia para o cenário BAU (MW).....	64
Tabela 13 - Produção de eletricidade para o cenário BAU no ano 2036 (MWh)	65
Tabela 14 - Solução otimizado para o cenário Renovável Alto.....	65
Tabela 15 - Potência instalada de novas unidades de energia para o cenário Renovável Alto (MW).....	66
Tabela 16 - Produção de eletricidade para o cenário Renovável Alto no ano 2036 (MWh) ...	66
Tabela 17 - Solução otimizado para o cenário 100% Renovável.....	67
Tabela 18 - Potência instalada de novas unidades de energia para o cenário 100% Renovável (MW).....	67
Tabela 19 - Produção de eletricidade para o cenário 100% Renovável no ano 2036 (MWh) .	68
Tabela 20 - Solução otimizado para o cenário Diversificado	68
Tabela 21 - Potência instalada de novas unidades de energia para o cenário Diversificado (MW).....	69
Tabela 22 - Produção de eletricidade para o cenário Diversificado no ano 2036 (MWh).....	69
Tabela 23 - Evolução da potência nova instalada por cenário ao longo dos anos (MW)	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Cabo Verde	6
Figura 2 - Consumo de combustíveis fósseis na produção de eletricidade	12
Figura 3 - Evolução da potência instalada em Cabo Verde por fonte de energia	13
Figura 4 - Evolução da produção de eletricidade em Cabo Verde.....	13
Figura 5 - Comparação dos custos de geração de energia em Cabo Verde	18
Figura 6 - Evolução da produção de energia em Cabo Verde a partir de energia renováveis (MWh).....	20
Figura 7 - Produção de eletricidade por fonte de energia e por ilhas (MWh).....	21
Figura 8 - Penetração da energia eólica em Cabo Verde	22
Figura 9 - Identificação das ZDER por tecnologia	25
Figura 10 - Geração da Energia Renovável e capacidade em percentagem a nível global (2007-2015).....	46
Figura 11- Mapa da ilha de Santiago	52
Figura 12 - Velocidade média do vento e a radiação global da ilha de Santiago.....	60
Figura 13 - Curva de potência da turbina eólica Vestas V52.....	61
Figura 14 - Evolução de custo para diferentes cenários.....	70
Figura 15 - Evolução das emissões de CO ₂ para os diferentes cenários (ton/MWh).....	71
Figura 16 - Soluções através da Curva de Pareto.....	72
Figura 17 - Produção da eletricidade por fontes de energia para os diferentes cenários em 2036 (MWh).....	74
Figura 18 - Distribuição das FER na produção para o cenário BAU em 2036.....	74
Figura 19 - Distribuição das FER na produção para o cenário Renovável Alto em 2036	75
Figura 20 - Distribuição das FER na produção para o cenário 100% Renovável em 2036.....	75
Figura 21 - Distribuição das FER na produção para o cenário Diversificado em 2036.....	76
Figura 22 - Comparação da procura e produção de eletricidade previstas para o ano 2036....	77
Figura 23 - Comparação da procura e produção de eletricidade previstas para o ano 2036....	77
Figura 24 - Comparação da procura e produção de eletricidade previstas para o ano 2036....	78

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AEB - Águas e Energia de Boavista.

AIE - Agência Internacional de Energia (IEA - *International Energy Agency*).

APP - Águas de Ponta Preta.

ARE - Agência de Regulação Económica.

BAU - *Business As Usual*.

°C - Grau Celsius.

CEDEAO - Comunidade Económica dos Estados da África Ocidental.

CO₂ - Dióxido de carbono.

DGE - Direção Geral de Energia.

ECREEE - *Ecowas Centre for Renewable Energy & Energy Efficiency* (Centro para Energias Renováveis e Eficiência Energética da CEDEAO).

ECV - Escudo Cabo-verdiano.

FER - Fontes de Energia Renováveis.

GAMS - *General Algebraic Modeling System*.

GEE - Gases com Efeito de Estufa.

Gesto - empresa do grupo Martifer especialista em consultoria energética e estudos de avaliação de potencial de Energia Renováveis.

GREIN - *Global Renewable Energy Islands Network*.

Gt - Gigatonelada.

GW - *Gigawatt*.

GWh - *Gigawatt-hora*.

hab/km² - Habitantes por quilómetro quadrado.

IDE - Investimentos Diretos Estrangeiros.

IDH - Índice de Desenvolvimento Humano.

INECV - Instituto Nacional de Estatísticas de Cabo Verde.

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental das Nações Unidas para as Alterações Climáticas).

IRENA - *International Renewable Energy Agency* (Agência Internacional para as Energias Renováveis).

km - Quilómetro.

km² - Quilómetro quadrado.

kV - Quilovolts.

kWh - *Kilowatt-hora.*

KWh/m² - *Kilowatt-hora por metro quadrado.*

m - Metro.

m³ - Metro cúbico.

m² - Metro quadrado.

mm - Milímetro.

m/s - Metro por segundo

MECC - Ministério da Economia, Crescimento e Competitividade.

MTIDE - Ministério do Turismo, Investimentos e Desenvolvimento Empresarial.

MTIE - Ministério de Turismo, Investimento e Energia.

MW - *Megawatt.*

O&M - Operação e Manutenção.

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OECD - *Organisation for Economic Co-operation and Development*).

OI - Osmose Inversa.

PEID - Pequenos Estados Insulares em Desenvolvimento (SIDS - *Small Island Developing States*).

PERCV - Plano de Energias Renováveis de Cabo Verde.

PESER - Plano Estratégico Sectorial das Energias Renováveis.

PIB - Produto Interno Bruto.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (UNDP - *United Nations Development Programme*).

PPP - Parceria Público-privada.

PVGIS - *Photovoltaic Geographical Information System.*

REN21 - *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century.*

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos.

SIG - Sistema de Informação Geográfica.

ton - Tonelada.

UCTE - *Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity.*

UNEP - *United Nations Environment Programme* (PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente).

ZDER - Zonas de Desenvolvimento de Energias Renováveis.

1. INTRODUÇÃO

A energia constitui um dos setores estratégicos para qualquer plano ou programa de desenvolvimento sustentável. Neste sentido, o acesso limitado a este recurso cria um entrave ao desenvolvimento do país e interrupções no fornecimento que podem levar a perdas económicas significativas. Segundo a Agência Internacional para as Energias Renováveis (IRENA), o desenvolvimento económico sustentável exige uma garantia do acesso à eletricidade, dado que os níveis de energia devem ser capazes de responder aos serviços básicos (iluminação, comunicação, saúde e educação), bem como ao uso produtivo (IRENA, 2013). O acesso à energia constitui assim, um pré-requisito para o desenvolvimento económico e social, uma vez que toda e qualquer atividade produtiva precisa de energia como forma de promoção de competitividade.

Sendo Cabo Verde um dos países insulares em desenvolvimento mais pobre e pequeno do mundo, o bom desempenho deste setor constitui um fator vital para a diversificação económica, com elevado impacto positivo para a sociedade local. Segundo o Ministério da Economia, Crescimento e Competitividade (MECC) (2008), a disponibilidade de energia, constitui um dos motores do crescimento económico e propicia grandes benefícios para o país, uma vez que a sua influência se faz sentir particularmente nos sectores da saúde, educação e ambiente, induzindo assim melhorias na qualidade de vida das pessoas.

Cabo Verde não possui quaisquer recursos petrolíferos conhecidos, o que o torna totalmente dependente das importações dos derivados de petróleo, *"um recurso energético mais utilizado atualmente pelas sociedades mais desenvolvidas"* (Peliganga & Silva, 2012, p. 3), para satisfazer as suas necessidades energéticas. Apesar das excelentes condições renováveis existentes no país, apenas 23% da eletricidade produzida provém de Fontes de Energias Renováveis (FER) (Ministério de Turismo, Investimento e Energia [MTIE], 2014a; Ecowas Centre for Renewable Energy and Energy Efficiency [ECREEE], 2014).

Por outro lado, Cabo Verde enfrenta ainda o problema da falta de águas superficiais permanentes, dado existirem no país escassos recursos pluviais, o que condiciona o possível aproveitamento da energia hidroelétrica. Portanto, para o arquipélago, a garantia da disponibilidade de energia revela-se de uma grande importância, uma vez que o país é dependente das centrais de dessalinização de água, sendo este um processo que exige uma quantidade significativa de energia. Deste modo, a elevada produção de eletricidade com base em fontes não renováveis e o recurso obrigatório à dessalinização da água do mar constituem

as principais dificuldades sentidas no setor elétrico em Cabo Verde. Como reflexo desta dependência, as tarifas de eletricidade e água praticadas no país estão entre as mais caras a nível global (GESTO ENERGIA S. A. [Gesto], 2011).

Colocam-se ainda as questões ambientais e sociais, devido sobretudo à queima de combustíveis fósseis para a geração de eletricidade e seus efeitos sobre a saúde humana. Embora produzam apenas uma pequena fração das emissões globais de Gases com Efeito de Estufa (GEE), as ilhas estão entre as regiões mais vulneráveis do mundo aos efeitos das alterações climáticas. Na verdade, os sistemas energéticos tradicionais caracterizam-se assim, pelo nível elevado de custos que acarretam e pelos elevados níveis de poluição ambiental que comportam, assim como, no caso particular das ilhas mais remotas, pelas dificuldades no fornecimento de combustível.

Todas estas questões têm despertado um grande interesse por parte de Cabo Verde em reduzir esta dependência e aumentar a segurança e sustentabilidade energética, principalmente pela concentração da promoção do uso de FER. Na verdade, o elevado potencial renovável motivou já estudos sobre a exploração deste em todo o país, reforçando a ideia de que existe uma base sustentável para que a penetração de energias renováveis no arquipélago possa ser alargada.

As FER constituem uma alternativa promissora para um abastecimento sustentável de energia. Além disso, a integração eficiente dessa tecnologia permitirá a Cabo Verde resolver o problema de escassez de água, com uma fonte de energia que seja simultaneamente amiga do ambiente e economicamente viável. Do ponto de vista da segurança do abastecimento, para um país como Cabo Verde que não dispõe de recursos ou reservas fósseis conhecidas, o papel das fontes renováveis é assim essencial.

Não obstante esta consciência, importa ter em consideração que as dificuldades que envolvem este tipo de tecnologia são significativas. Apesar das perspetivas otimistas relativamente à integração destas fontes de energia na rede, tem-se apontado uma série de barreiras que podem restringir a sua implementação no processo de geração de eletricidade. Em muitos países onde há um grande potencial renovável, muitas vezes a integração é limitada, devido essencialmente à natureza intermitente de alguns desses recursos. A operacionalização dessas fontes depende sobretudo das condições climáticas, que muitas vezes não seguem o padrão da procura, tornando-se a geração de eletricidade totalmente variável (Castro, 2011), contrariando as fontes tradicionais que fornecem um fluxo controlável e constante de energia (Krioukov et al., 2011).

Autores como Painuly (2001) e Nasirov, Silva e Agostini (2015) afirmam que, sobretudo para os países em desenvolvimento, os custos iniciais constituem a principal barreira da introdução desses recursos no sistema. No entanto, os benefícios são elevados se houver um bom aproveitamento das FER para a geração de eletricidade, vindo depois a refletir-se quer a nível local, através da melhoria das condições sociais e económicas das regiões em causa, quer a nível global, através dos benefícios ambientais que daí advêm.

Pretende-se assim, com base no estudo e no desenvolvimento do tema que se apresenta, responder aos desafios referidos, apresentando um estudo de diferentes cenários possíveis de geração de energia elétrica e a respetiva viabilidade económica no âmbito de Cabo Verde. Este projeto pretende contribuir para a análise das FER e do seu potencial na redução da dependência externa de energia do país.

Neste sentido, justifica-se a escolha do tema, almejando que este projeto possa apresentar sugestões capazes de contribuir para a consolidação da política de introdução das energias renováveis no país.

1.1 Objetivo do Estudo

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver um estudo sobre o planeamento elétrico em Cabo Verde, resultando na proposta de diferentes cenários de longo prazo para a produção de eletricidade. De um modo particular, pretende-se analisar a integração das energias renováveis no país, tendo em consideração as perspetivas de consumo elétrico e o potencial renovável da região.

De modo a alcançar o objetivo geral acima enunciado, propõe-se, ainda, atingir os seguintes objetivos específicos:

- a) Caraterizar o sistema elétrico em Cabo Verde;
- b) Desenvolver um modelo de planeamento elétrico adaptado ao caso de Cabo Verde;
- c) Analisar os cenários elétricos de longo prazo.

1.2 Organização da Dissertação

Neste ponto pretende-se apresentar uma visão geral do trabalho realizado, expondo uma breve descrição dos capítulos que dão corpo ao estudo.

Após a introdução, no capítulo seguinte descreve-se o sistema elétrico de Cabo Verde, apresentando com detalhe a situação atual do mercado, restrições legais, políticas energéticas e agentes que atuam no setor. São analisadas, em particular, as perspetivas de crescimento de consumo de eletricidade e o potencial das energias renováveis em Cabo Verde.

De seguida, no capítulo 3, apresenta-se a revisão da literatura com enfoque em duas temáticas: (1) modelos de pl

aneamento elétrico em sistemas isolados; (2) integração de energias renováveis no planeamento elétrico.

O capítulo 4 é dedicado à apresentação do desenvolvimento e implementação do modelo de planeamento elétrico, partindo do modelo apresentado em Pereira, Ferreira e Vaz (2016). Esta parte do estudo implica a recolha de dados, adaptação do modelo ao caso de Cabo Verde e definição de estratégias e políticas energéticas a considerar na modelação. Com base nos resultados obtidos, é ainda apresentada uma análise dos cenários futuros de geração de eletricidade para Cabo Verde

E, para finalizar, no capítulo 5, são apresentadas as conclusões, salvaguardando-se também sugestões para trabalhos futuros, de modo a dar continuidade a esta dissertação.

2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO DE CABO VERDE

Neste capítulo é apresentada a descrição do caso em estudo, i.e., Cabo Verde, analisando em particular a situação energética do país. O levantamento bibliográfico baseia-se em diferentes artigos científicos, em documentos oficiais e estudos de diversas entidades internacionais. É apresentada a caracterização socioeconómica e geográfica do arquipélago, sendo posteriormente descrita a estrutura do mercado de energia e agentes do setor. A situação atual e as perspetivas futuras são abordadas nas seções seguintes com especial destaque para as energias renováveis, não esquecendo os impactos esperados pelo seu desenvolvimento. No final, são apresentados os principais desafios que se colocam ao setor energético.

2.1 Caracterização de Cabo Verde

O arquipélago de Cabo Verde é constituído por dez ilhas de origem vulcânica, nove das quais habitadas e vários ilhéus, com uma superfície aproximada de 4.033 Km², situado em pleno oceano Atlântico, a 450 km da costa senegalesa, entre os 14°23' e 17°12' de latitude Norte e 22°40' e 25°22' de longitude Oeste (Instituto Nacional de Estatísticas de Cabo Verde [INECV], 2015; cfr. Fig.1).

As ilhas dividem-se em dois grupos consoante a sua posição geográfica relativamente aos ventos dominantes: Barlavento, do lado que sopra o vento, (Santo Antão, Santo Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Sal e Boavista) e Sotavento, do lado oposto ao vento, (Maio, Santiago, Fogo e Brava).

Em termos geomorfológicos, reúnem-se igualmente em dois grupos: as montanhosas (Santo Antão, S. Vicente, Santa Luzia, S. Nicolau, Santiago, Fogo e Brava) com altitudes que alcançam até os 2.829 metros (vulcão da ilha do Fogo), e as ilhas planas caracterizadas pela quase inexistência de relevo montanhoso, com altitudes não superiores a 500 metros.

Devido à sua localização geográfica, na região árida do Sahel, o clima de Cabo Verde é do tipo tropical seco, caracterizado por um longo período de seca (novembro a junho) e uma curta e irregular estação chuvosa, com temperaturas moderadas, devido à pequena dimensão

das ilhas e à influência marítima, com valores médios anuais a rondar os 25°C (INECV, 2015). A precipitação média anual é baixa, variando de 60 mm (milímetro) nas ilhas planas a 240 a 550 mm nas ilhas montanhosas (INECV, 2015). Como consequência, a recarga de águas subterrâneas é lenta e estas são demasiado exploradas, pelo que os recursos do subsolo são bastante limitados, o que explica a escassez de água em todo o país. Desta forma, o abastecimento de água, tanto para a população rural como para a urbana é insuficiente, com consequências extremamente negativas. Este problema é tão grave que a única solução viável passa pela dessalinização da água do mar (Alves, Costa, & Carvalho, 2000).

A população residente resume-se a pouco mais de meio milhão de habitantes (524.833), distribuída pelas nove ilhas habitadas, encontrando-se metade desta em Santiago (54% em 2015), a maior ilha do arquipélago (INECV, 2015). Contudo, devido à escassez de recursos naturais, à falta de chuvas no arquipélago e à pobreza económica do país, muitos cabo-verdianos emigram à procura de melhores condições de vida. Aliás, a população cabo-verdiana no exterior é mesmo superior à que habita no arquipélago (GCV, 2016).

Cabo Verde apresenta uma densidade demográfica de cerca 130,13 hab/km² (INECV, 2015). A moeda do país é o Escudo Cabo-verdiano (ECV), cuja estabilidade é garantida pelo envio dos montantes das remessas de emigrantes, pela ajuda externa e pela gestão cuidada dos pagamentos ao exterior (GCV, 2016).

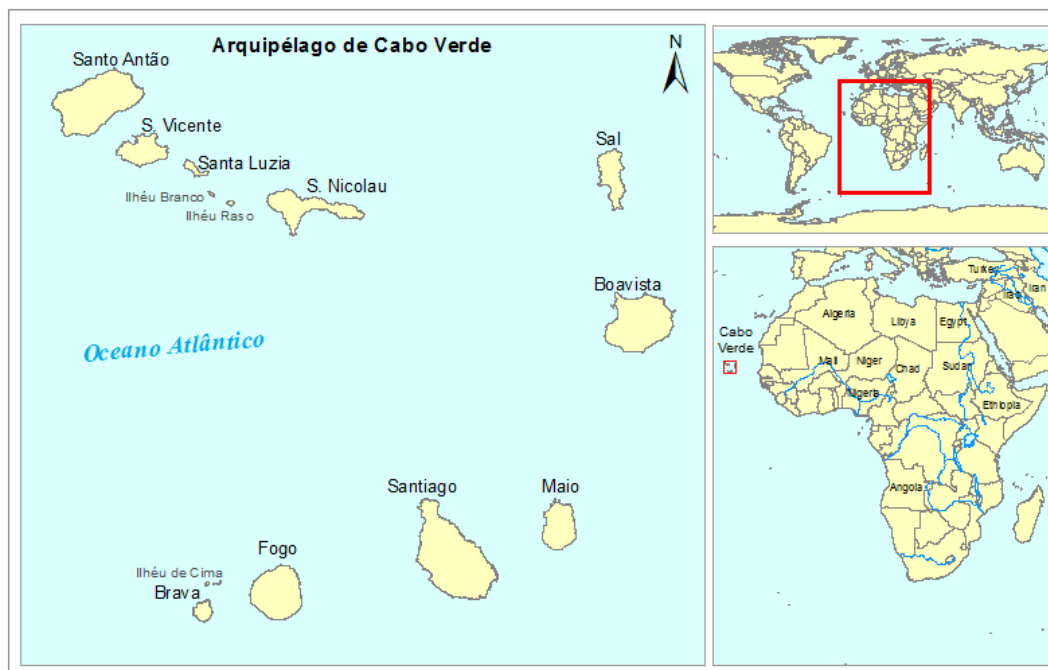


Figura 1 - Mapa de Cabo Verde

Fonte: INECV (2015)

A economia cabo-verdiana baseia-se essencialmente em atividades como a agropecuária, a pesca e a indústria. O comércio interno e o externo são igualmente importantes. Contudo, apenas cerca de 10% do seu território está classificado como terra arável, dispondo o país de limitados recursos minerais (The World Bank, 2015). Além disso, Cabo Verde é extremamente vulnerável a fenómenos naturais inóspitos, particularmente as secas cujos impactos são inevitáveis.

No entanto, apesar das fragilidades estruturais, o sector agropecuário tem desempenhado um papel de grande relevo para o país, permitindo a manutenção e sobrevivência de grande número de famílias, cujo sustento e organização da vida estão estreitamente dependentes da exploração da terra. Por outro lado, a pesca tem permitido maior resiliência da população e evitado a tendência de êxodo rural. Importa salientar que estes sectores são pilares importantes da segurança alimentar e nutricional do país e uma importante fonte de rendimento e oportunidade de emprego em todas as ilhas (INECV, 2015). Em 2014, a agricultura representou cerca de 9,4% do Produto Interno Bruto (PIB) (*African Economic Outlook*, 2016).

É neste contexto que, ao longo das quatro últimas décadas, Cabo Verde tem apresentado uma trajetória de desenvolvimento consistente, com vários indicadores acima da média relativamente aos demais países africanos. Relativamente ao desenvolvimento humano, Cabo Verde é um país de desenvolvimento médio, com um PIB *per capita* de 2.933 dólares em 2012 (INECV, 2015) sendo, desde 2008, considerado um país de rendimento médio inferior (Ministério do Turismo, Investimentos e Desenvolvimento Empresarial [MTIDE], 2015b). Com uma taxa de alfabetização notável, superior a 80%, Cabo Verde apresenta um dos indicadores sociais mais positivos no contexto africano (INECV, 2015). Segundo o relatório do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 2015, Cabo Verde ocupa a 122ª posição entre os 188 países, com valor (0,646) superior à média do grupo dos países de desenvolvimento humano médio e dos países da África subsaariana, correspondentes atualmente a 0,63 e 0,518, respetivamente (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento [PNUD], 2015).

No entanto, apesar de apresentar um IDH considerável, o arquipélago padece ainda de algumas vulnerabilidades, resultantes da fraca capacidade produtiva interna e da forte dependência da sua economia de fatores externos, nomeadamente a flutuação dos preços dos combustíveis no mercado internacional.

Outro setor que tem tido uma influência importante no desenvolvimento económico do país é o turismo, que se tem expandido sobretudo pela existência de um clima com

temperaturas moderadas e pela beleza das suas praias e simpatia das suas gentes. Também o facto de haver estabilidade política e ausência de terrorismo favorecem esse crescimento. Na realidade, o turismo é o setor que mais tem contribuído para o crescimento económico do país, facto comprovado pela evolução do PIB turístico que cresceu 17,9%, entre 2011 e 2014, valor superior ao do crescimento do PIB total (5,1%) (INECV, 2015). Em Cabo Verde, o turismo constitui a principal fonte de riqueza nacional, representando cerca de 21% do PIB em 2014 (INECV, 2015).

Por essa razão, o turismo é assumido pelo Governo de Cabo Verde como um setor estratégico e prioritário enquanto fator de desenvolvimento, com influência em diversas atividades económicas, direta e indiretamente associadas e que contribuem em simultâneo para o desenvolvimento e para a criação de emprego no país. Em 2013, o turismo contribuiu com cerca de 20,1% do total dos postos de trabalho do arquipélago (INECV, 2015).

No entanto, em consequência da crise financeira e da lenta recuperação da Europa, tem-se verificado uma desaceleração do ritmo de crescimento da atividade económica de Cabo Verde. O crescimento real, em termos de PIB *per capita*, era, em média, de 7,1% entre 2005 e 2008, tendo o ritmo de crescimento vindo a diminuir para 4% em 2011, 2,5% em 2012 e 1% em 2013 (MTIDE, 2015b).

A desaceleração do crescimento refletiu uma quebra nos Investimentos Diretos Estrangeiros (IDE), um dos principais motores do crescimento no país, bem como a continuada racionalização do investimento público, num contexto de crescimento da dívida. As atividades económicas foram ainda afetadas pelo fraco crescimento do crédito ao setor privado (*The World Bank*, 2015).

O setor do turismo foi o mais afetado pela crise. A quebra do IDE implicou a redução na construção de hotéis e, conseqüentemente, na redução do volume de turistas. Por outro lado, a deflação (entre os anos 2011 a 2014) em alguns países europeus tem tido um efeito negativo sobre a taxa de câmbio efetiva real de Cabo Verde, tornando o setor menos competitivo, especialmente no que diz respeito aos destinos turísticos europeus (*The World Bank*, 2015).

Como consequência da ascensão a país de rendimento médio, Cabo Verde deixou de ser elegível para empréstimos das principais instituições internacionais. No entanto, o país negociou com os principais parceiros um plano de endividamento até 2018, não podendo endividar-se para além do que está contratualizado (MTIDE, 2015b).

Não obstante esta realidade, a partir de 2014, o país tem mostrado sinais de recuperação tendo o PIB aumentado 1,8%, devido à recuperação do IDE e do aumento das remessas que

impulsionaram o consumo das famílias e representou um certo alívio num período difícil para muitos cabo-verdianos. Paralelamente, as exportações de peixe têm sido fortes, destacando-se o potencial do setor na economia do país (*African Economic Outlook*, 2016).

Em 2015, a recuperação da economia europeia teve um impacto positivo sobre Cabo Verde, em particular através do turismo. No entanto, a economia ainda é de baixo desempenho devido à deflação e ao desemprego que continua elevado. A taxa de desemprego, tem, todavia, vindo a diminuir um pouco, caindo de 16,8% em 2013 para 15,8% em 2015 (*African Economic Outlook*, 2016).

A recuperação económica pós-crise em Cabo Verde ainda é débil, devido à fraca economia global e à vulnerabilidade doméstica. No entanto, o turismo e o investimento estrangeiro ligado ao setor continuam a ser os principais motores de crescimento. Assim sendo, o crescimento económico passou para cerca de 3,6% em 2015 (*African Economic Outlook*, 2016). É, no entanto, provável que a procura turística se mantenha débil, atendendo ao ritmo de crescimento económico nos principais mercados de origem (*African Economic Outlook*, 2016). Na procura interna, prevê-se que os preços se mantenham baixos devido a uma combinação de desenvolvimentos locais e internacionais, estabelecendo a base para uma continuada flexibilização da política monetária. Neste contexto, prevê-se que o crescimento real do PIB seja de 3,6% em 2016 e 4% entre 2016 e 2019 (*African Economic Outlook*, 2016). Tal facto pressupõe que se verifique um melhor desempenho económico na Europa, potenciando assim o turismo e o IDE.

A redução do ónus da dívida pública continua a ser um enorme desafio. O Estado enfrenta ainda o desafio de acelerar os esforços para racionalizar o investimento público e conter passivos contingentes nas instituições públicas do país, sem travar o recente surto de crescimento (*The World Bank*, 2015). O arquipélago precisa de consolidar os seus resultados como país de rendimento médio e continuar a reforçar as condições para a redução da pobreza e a partilha da prosperidade.

Para uma pequena economia aberta, como é o caso de Cabo Verde, as contingências materializadas pelos recentes acontecimentos económicos globais deixam o país totalmente vulnerável. Por outro lado, em termos estruturais, é preciso lidar com o problema da insularidade que obriga a custos de transportes elevados. Existem ainda dificuldades ao nível das infraestruturas, visto que é necessário ter em consideração as nove ilhas habitadas, tanto na prestação de serviços públicos, como no caso da energia. É de realçar que Cabo Verde é um país extremamente vulnerável a mudanças climáticas, nomeadamente a subida do nível das águas do mar e os desastres naturais (*The World Bank*, 2015). Uma mudança do clima

poderá afetar seriamente o desenvolvimento do país, visto que a sua economia depende fortemente dos recursos naturais diretamente a ele associado, desde a agricultura, a pecuária, a pesca e o turismo.

2.2 Estrutura de Mercado de Energia e Agentes do Setor

O serviço de abastecimento de energia é um dos elementos chave para o desenvolvimento económico e social de Cabo Verde. O bom desempenho deste setor será uma mais-valia, contribuindo nomeadamente à criação de postos de trabalho, à inovação no setor energético, ao desenvolvimento do setor privado, à redução do défice externo e à promoção do setor do turismo.

O Ministério do Turismo, Investimentos e Desenvolvimento Empresarial tutela o setor energético em Cabo Verde, sendo da responsabilidade da Direção Geral de Energia (DGE) a definição, conceção, execução e avaliação das políticas e diretivas do Governo no que diz respeito ao setor da energia (MTIE, 2014b). Os preços do mercado energético e do combustível fóssil são regulados pela Agência de Regulação Económica (ARE), estando praticamente dependentes da evolução do preço dos combustíveis fósseis (MTIE, 2014b).

Em Cabo Verde, a empresa pública ELECTRA, é a principal empresa a operar no setor elétrico, sendo também responsável pelo abastecimento de água para a maioria das ilhas, com exceção da ilha de Boavista, onde a empresa público-privada Águas e Energia de Boavista (AEB) é subconcessionária do serviço público, e da ilha do Sal onde opera em regime de produtor independente, desde 2005, a empresa Águas de Ponta Preta (APP) (MTIDE, 2015a). No que concerne às áreas renováveis estão envolvidas duas entidades: a Cabeólica, empresa público-privada que, desde 2009, opera em Cabo Verde e a Electric Wind, empresa privada responsável pelo desenvolvimento e exploração da energia eólica na ilha de Santo Antão (MTIDE, 2015a).

No mercado dos combustíveis, no qual se apoia a produção de eletricidade, operam as empresas Enacol e Vivo Energy, principais responsáveis pelas importações e distribuições de combustíveis no país (MTIDE, 2015a). Uma parte do combustível fóssil importado por Cabo Verde destina-se à reexportação em aviação e transportes marítimos. Todavia, grande parte é destinada ao consumo interno, nomeadamente para os transportes, produção de eletricidade e água dessalinizada (ARE, 2016).

Devido a insularidade de Cabo Verde, os derivados do petróleo para o consumo interno seguem um complexo sistema de importação e redistribuição. As empresas responsáveis pela distribuição de combustíveis contam com uma vasta rede de redistribuição por todo o território, cada ilha possuindo um sistema energético isolado com características próprias de oferta e procura. Num primeiro momento, todos os combustíveis fósseis importados são armazenados nas ilhas de São Vicente, Sal e Santiago. É a partir destes três centros de armazenamento primários que são posteriormente distribuídos por via marítima pelas restantes ilhas. No entanto, para as localidades mais remotas, o abastecimento de gásóleo para a produção de eletricidade é feito pela estrada (MTIE, 2014b). Por razões sociais, o preço dos produtos petrolíferos estabelecido é o mesmo em todas as ilhas, embora o custo seja superior para as ilhas menos desenvolvidas (Alves et al., 2000).

Por seu turno, a eletricidade consumida em cada ilha é produzida localmente, sendo a maior parte suportada por derivados de petróleo, nomeadamente o fuelóleo e o gásóleo. Para satisfazer as necessidades das populações mais isoladas, alguns municípios mantêm pequenas redes isoladas (MTIE, 2014b).

Na maioria das ilhas, a distribuição da eletricidade é efetuada através de uma rede de média tensão de 20 kV, com um total de 297,6 km e 538,7 km de linhas aéreas e linhas subterrâneas, respetivamente, sendo Santiago a única ilha com 43 km de linha de 60 kV. A distribuição de potência pelas ilhas é substancialmente desigual, já que varia entre os 0,9 MW na ilha da Brava, 1 MW na ilha do Maio e cerca 70 MW em Santiago (MTIE, 2014b).

2.3 Situação Atual e Perspetivas Futuras

O setor energético de Cabo Verde caracteriza-se pelo consumo de combustível fóssil (derivados de petróleo), biomassa (lenha) e uma pouca expressiva utilização de energias renováveis, nomeadamente a energia solar e eólica (MTIE, 2014b). O aproveitamento das potencialidades renováveis é ainda muito reduzido. Não obstante as excelentes condições existentes no país para a utilização dessas energias, apenas 23% da eletricidade produzida provém de FER (MTIE, 2014a; ECREEE, 2014). Vemos, assim, que Cabo Verde se apresenta muito dependente das importações, uma vez que não possui quaisquer recursos energéticos próprias de origem fóssil (Segurado, Costa, Duic, & Carvalho, 2015).

Embora o consumo de combustível fóssil tenha aumentado significativamente, ao longo dos anos em Cabo Verde, desde 2011 este cenário tem sofrido alterações, conforme se pode observar na figura 2.

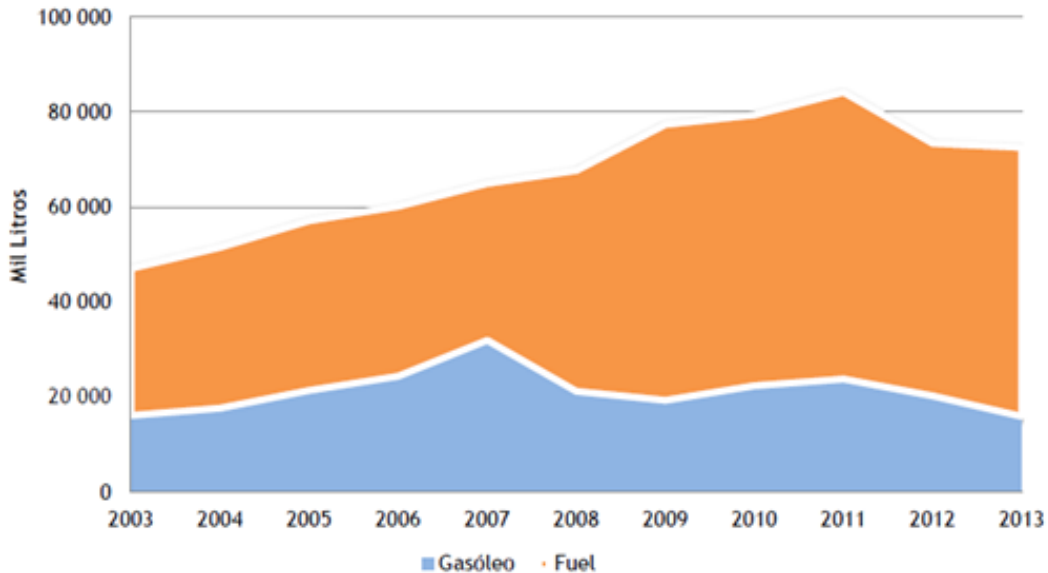


Figura 2 - Consumo de combustíveis fósseis na produção de eletricidade

Fonte: MTIE (2014a)

O aumento no consumo de combustível fóssil deve-se sobretudo ao aumento da capacidade de produção instalada no país, ao longo dos anos. Durante todo o ano 2013, a potência instalada totalizava um valor de 140,98 MW (contra 78,55 MW em 2003), repartidos pelas centrais a *diesel*, centrais eólicas e centrais solares.

De acordo com a figura 3, o combustível fóssil apresenta-se como um fator crucial na produção de eletricidade (78,8% em 2013). No entanto tornou-se visível o crescimento do potencial renovável instalado nos últimos anos. A fonte de energia que mais cresceu foi a eólica, sendo mesmo possível assistir a uma quebra da tendência de crescimento da potência fóssil em 2012, apesar do aumento contínuo do crescimento do total da potência instalada. Prevê-se, por isso, que nos próximos anos, se verifique uma redução progressiva do uso do combustível na produção de eletricidade, sobretudo dado o impacto que este tem no custo final de eletricidade.

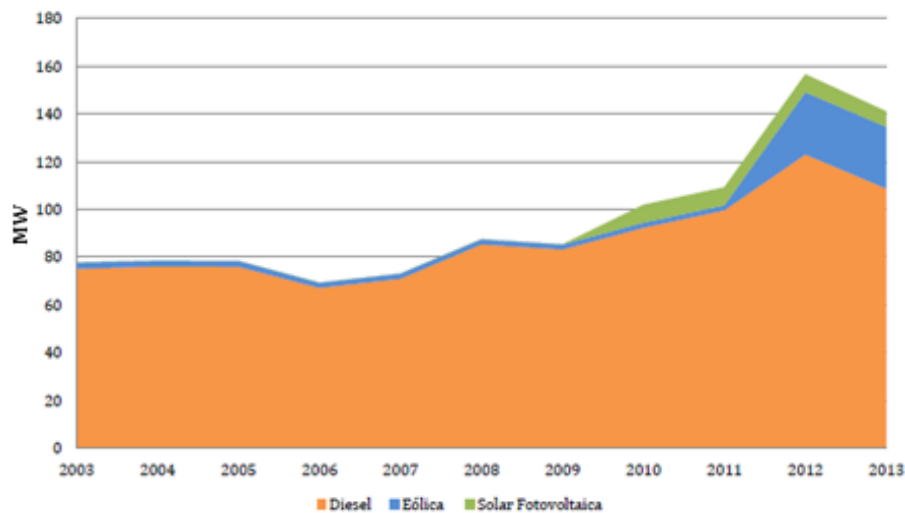


Figura 3 - Evolução da potência instalada em Cabo Verde por fonte de energia
 Fonte: MTIE (2014a)

Se observarmos a produção de eletricidade nos últimos anos, verificamos que há uma taxa média de crescimento superior a 7% ao ano entre 2009 e 2013. Se tivermos como referência o ano 2013, vemos um aumento de 5,52% em relação a 2012. Na figura 4 podemos observar a evolução da produção de eletricidade em Cabo Verde no decurso dos últimos anos.

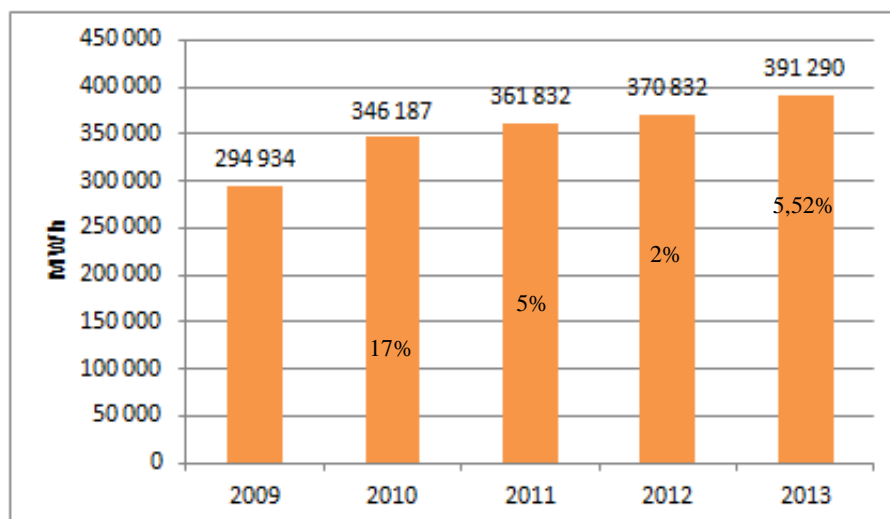


Figura 4 - Evolução da produção de eletricidade em Cabo Verde
 Fonte: MTIE (2014a)

O aumento da população e o conseqüente acesso à eletricidade têm sido fatores que suscitaram o aumento da procura de energia elétrica (MTIE, 2014a). Segundo os resultados

do *Inquérito Multiobjectivo Contínuo - Estatísticas das Famílias e Condições de Vida*, realizado pelo INECV em 2014, cerca de 84,5% das famílias cabo-verdianas tinham acesso a eletricidade (INECV, 2014). Tal valor encontra-se muito acima da média dos países africanos (42%), assim como da média dos países em desenvolvimento (76,1%) (*World energy outlook*, 2014).

Embora a eletricidade seja a principal fonte para a iluminação, as populações têm recorrido a outras alternativas, de um modo especial durante o período de crise energética. No meio rural, muitas famílias recorrem à utilização de velas e geradores a gás, visto que nem todas têm acesso à rede elétrica. Contudo, Cabo Verde tem feito grandes progressos para conseguir facultar o acesso universal à eletrificação. Dada a desigualdade inter-regional no acesso à energia, o Governo estabeleceu como meta, aumentar a taxa de cobertura territorial da eletricidade em Cabo Verde para 100% até 2016 (MTIE, 2014a, ECREEE, 2014).

Neste sentido, de acordo com o estudo da Gesto, publicado no Plano de Energias Renováveis de Cabo Verde (PERCV), em 2011, estima-se que o consumo de energia elétrica possa duplicar até 2020. Este estudo analisou a evolução da procura da energia elétrica em Cabo Verde, tendo em conta três cenários: conservador, intermédio e agressivo. O cenário intermédio prevê que a procura total das nove ilhas possa atingir os 670 GWh em 2020, representando uma taxa de crescimento de cerca de 8% ao ano no período 2013-2020 (Gesto, 2011).

Para alcançar o acesso universal à eletrificação em Cabo Verde, o país teria primeiramente, de adotar estratégias de modo a reduzir as tarifas de eletricidade que ainda são relativamente caras (tendo em consideração o sistema atual), sendo esta uma das principais barreiras das famílias cabo-verdianas na integração à rede elétrica. Caso contrário, a ELECTRA teria de fazer face às dívidas da população, dada a incapacidade das famílias em pagar a energia elétrica, devido ao desemprego e os baixos rendimentos domésticos. Em função do setor de atividade, o salário mínimo nacional ronda os 110 a 150 euros por mês.

Tendo em consideração as limitações de Cabo Verde em recursos naturais, o modelo de produção de eletricidade atualmente existente contribui para o aumento da importação de combustíveis. A Gesto (2011) acredita que, com a duplicação do consumo e mantendo-se apenas os projetos renováveis já existentes, o consumo de combustíveis fósseis continue a aumentar. O peso da importação dos derivados do petróleo tem como consequência o aumento do défice na balança de pagamentos, para além do elevado custo energético suportado pelos cabo-verdianos. A fatura resultante da importação destes derivados absorve consideráveis recursos financeiros que podiam ser direcionados para investimentos

produtivos. Torna-se, assim, fundamental aumentar a participação das FER na matriz elétrica atual, de modo a combater essa realidade.

A integração dos recursos renováveis na geração de eletricidade centra-se sobretudo nas energias eólica e solar, dado existirem em Cabo Verde escassos recursos pluviais que possibilitem a criação de energia hídrica. Convém ainda não esquecer que, Cabo Verde apresenta uma acentuada dependência das centrais de dessalinização de água, sendo este um processo que exige uma quantidade significativa de energia. De tal modo que nas ilhas de São Vicente e Sal toda a água abastecida à população é dessalinizada, dado não haver aí acesso a água doce (MTIDE, 2015b). Dados da Electra demonstram que a água de origem subterrânea representou apenas 7,2% do total (4.383.690 m³) produzido durante todo o ano 2012, sendo essa parte captada somente na ilha de Santiago. Por outro lado, no mesmo ano, os processos de dessalinização e bombagem de água consumiram cerca de 5,7% do total de energia elétrica produzida (Electra, 2012). Em suma, a extrema escassez de água potável e o recurso obrigatório à dessalinização da água do mar fazem do setor da água um grande consumidor de energia elétrica (Electra, 2012).

De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) são vários os cientistas que identificam a escassez de água como um dos problemas mais preocupantes para o novo milénio. Essa ideia é reforçada por Chen, Duic, Alves e Carvalho (2007) quando afirmam que a falta de acesso à água fresca e a dependência dos combustíveis fósseis importados constituem os principais problemas de desenvolvimento das ilhas.

Para Amaral, Araújo, Mendes e Martins (2014) a técnica de dessalinização de água do mar desempenha um papel importante no desenvolvimento de Cabo Verde. Por seu turno, Segurado, Krajacic, Duic e Alves (2011) afirmam que a instalação de unidades de dessalinização é uma solução comum em todo o mundo em áreas com escassez de água. Contudo, devido ao seu custo elevado, muitos países são incapazes de pagar essa tecnologia (Khawaji, Kutubkhanah & Wie, 2008). Para Spang (2006), uma das principais limitações da dessalinização deve-se ao facto desta exigir uma quantidade elevada de energia, o que pode prejudicar significativamente o ambiente, devido à emissão de gases responsáveis pelo efeito de estufa, quando associada à queima de combustíveis fósseis. Neste sentido, torna-se fundamental a introdução de novas alternativas na implementação desta técnica, de modo a evitar os possíveis impactos ambientais, para que a aplicação deste processo de obtenção de água potável seja sustentável.

Muitos têm sido os estudos realizados com vista à eventual integração de FER no processo da dessalinização. O Sistema de Informação Geográfica (SIG) foi utilizado em

Spang (2006) para a geração de um mapa de potencial eólico para associação à dessalinização. De acordo com a análise realizada, Cabo Verde possui um grande potencial para incrementar ganhos de unidades de dessalinização através da energia eólica. O autor refere ainda que os sistemas de energia eólica, em conjunto com a técnica de dessalinização, representam uma excelente proposta para aumentar o abastecimento de água nas regiões onde ela é escassa. Segurado et al. (2015) discutiram formas de aumentar a penetração das FER na ilha de São Vicente, juntando os sistemas de energia e o abastecimento de água. Os cenários estabelecidos propunham duas formas de armazenar a energia eólica excedente na ilha, sendo uma delas o fornecimento do excesso de energia eólica para as unidades de dessalinização. A outra solução estudada tem a ver com o uso de água dessalinizada em um sistema hidro bombeado como forma de armazenar o excesso de energia eólica. Uma outra experiência com a dessalinização solar foi abordada por Ghermandi e Messalem (2009) com base na análise de 79 sistemas experimentais em todo o mundo. Os resultados demonstraram que a técnica de Osmose Inversa (OI), com base na energia solar fotovoltaica, é tecnicamente viável, com um custo mais baixo e economicamente competitivo com outras fontes de abastecimento de água para sistemas de pequena escala em áreas remotas. Os autores defendem ainda que o acoplamento da técnica de dessalinização de OI com a energia solar surge como um campo promissor de desenvolvimento no setor de dessalinização, com o potencial de melhorar a sua sustentabilidade, minimizando ou eliminando completamente a dependência de combustíveis fósseis, o que permite reduzir significativamente os custos operacionais das unidades de dessalinização.

Segundo Herold e Neskakis (2001), em países sem recursos de combustíveis fósseis e em áreas remotas, o abastecimento através da energia solar pode, em muitos casos, ser uma solução económica para a aplicação autónoma em comparação com as unidades de dessalinização de pequena escala impulsionadas por combustíveis fósseis, que são relativamente caros para operar nessas áreas. Neste sentido, as FER tornam-se uma alternativa promissora para um abastecimento regular de água. Na verdade, a efetiva integração dessa tecnologia permitirá aos países resolver problemas de escassez de água, com uma fonte de energia renovável, que não causa poluição do ar, nem contribui para o problema global das alterações climáticas (Spang, 2006).

A elevada produção da eletricidade recorrendo a recursos petrolíferos e a necessidade de obtenção de água dessalinizada representam aspetos essenciais que condicionam a matriz elétrica atual de Cabo Verde. Em 2012, o processo de dessalinização foi responsável por cerca de 91% da capacidade de produção de água no país (Electra, 2012). A maioria da energia

despendida neste processo é baseada em derivados do petróleo, que para além de serem importados, são extremamente poluentes, tendo ainda um preço elevado e variável no mercado (MTIDE, 2015a). No entanto, o consumo de água por habitante é ainda muito inferior aos dos países mais desenvolvidos, mas também doutros países de África. O consumo de água per capita em Cabo Verde rondava em 2001 cerca de 48 m³/habitante/ano (FAO, 2016), longe, portanto, de Marrocos, por exemplo, com 316 m³/habitante/ano em 2010, Argélia, com 225 m³/habitante/ano ou Portugal, onde o valor em 2007 foi de 867 m³/habitante/ano. Estes consumos estão naturalmente associados às atividades económicas e condições climáticas de cada país (p.e. na Suíça o valor em 2012 ficou aquém de 250 m³/habitante/ano) mas demonstram bem as necessidades de água que importa suprir em Cabo Verde e as consequentes necessidades energéticas para a dessalinização.

Como reflexo desta dependência, as tarifas de eletricidade e água praticadas em Cabo Verde registam valores bastante superiores à média das referências utilizadas em África e estão entre as mais altas do mundo (Gesto, 2011). Tais valores, recordam Segurado et al. (2011), devem-se essencialmente à dependência da importação de combustíveis caros. No entanto, apesar das diferenças de custos no arquipélago, um único preço de energia é aplicado em todas as ilhas - uma subvenção cruzada geográfica justificada, sobretudo, por razões de equidade social (Segurado et al., 2015).

De acordo com o MTIE (2014a), no ano 2013 despendeu-se cerca de 0,30 €/kWh em eletricidade produzida maioritariamente nas centrais a *diesel*. Por outro lado, as tarifas de água representaram cerca de 3,32€ euros por m³ em 2012, valor muito acima das tarifas médias de água nas principais cidades da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) (Electra, 2012; Segurado et al., 2015). Estas elevadas tarifas constituem um problema socioeconómico e um entrave para o desenvolvimento da economia do arquipélago.

A figura 5 apresenta a análise comparativa entre os custos de geração de eletricidade em Cabo Verde e as tarifas praticadas nos diferentes níveis de tensão, nomeadamente Portugal e outros países africanos. Esta análise evidencia o facto de Cabo Verde praticar tarifas bastante elevadas, mas que ainda assim, parecem insuficientes para suportar os custos de geração. Considera-se, por isso, urgente atingir uma redução substancial dos custos de geração de energia.

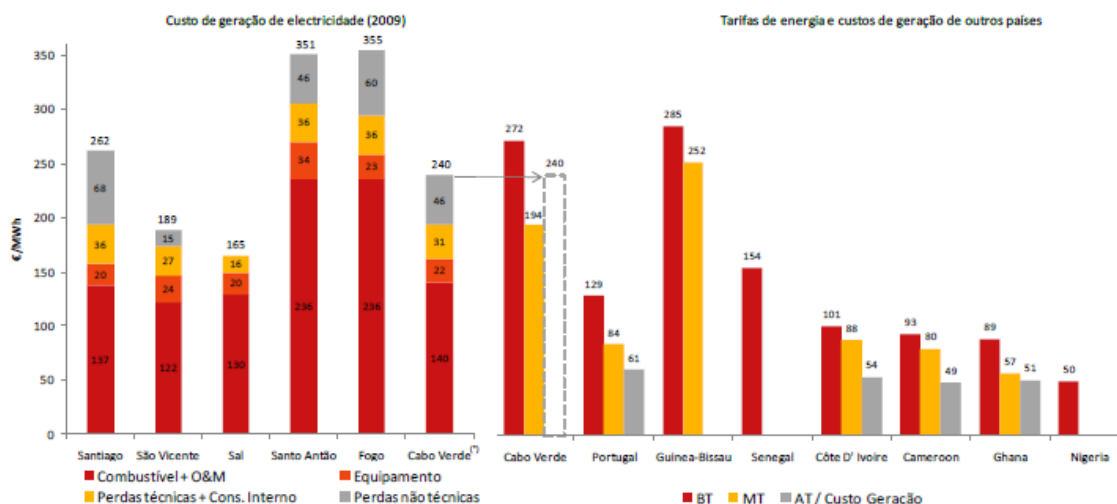


Figura 5 - Comparação dos custos de geração de energia em Cabo Verde com as tarifas praticadas em vários países africanos

Fonte: Gesto (2011)

As tarifas praticadas em Cabo Verde estão naturalmente relacionadas com o custo de geração de energia elétrica, custo esse que, tendo em consideração a matriz elétrica atual do país, depende fortemente do custo dos combustíveis despendidos na geração de energia. A esse fator pode-se ainda acrescentar-se o custo da insularidade do país, que impede o aproveitamento de economia de escala (MECC, 2008) e obriga a custos adicionais de transporte e armazenamento de combustível, como forma de assegurar o abastecimento em todas as ilhas. Tal facto é lembrado por Belward et al. (2011) quando afirmam que os custos de transporte de combustível para os países africanos representam cerca do dobro da média mundial.

A economia energética de Cabo Verde encontra-se dependente da volatilidade do mercado petrolífero. Assim, qualquer mudança verificada no preço dos combustíveis fósseis e, conseqüentemente, no setor energético, tem um grande impacto no setor da água, relativamente à sua disponibilidade e ao seu custo. Portanto, a melhoria do setor energético teria um impacto direto na redução da barreira financeira de acesso à água potável e, conseqüentemente, na melhoria nas condições sanitárias e, naturalmente, no conforto da população no país (MTIDE, 2015b).

Embora a insularidade dos sistemas energéticos possa justificar um custo acrescido nas tarifas, a Gesto (2011) acredita que é possível atingir um custo mais baixo de geração de energia em Cabo Verde. Para isso, será necessário alterar a composição do parque electroprodutor, investindo em fontes renováveis com custos de exploração reduzidos e

identificar/eliminar as perdas não técnicas responsáveis por uma substancial quota-parte do custo de geração de energia no país.

Por outro lado, por estarmos perante um sistema isolado, há outros problemas que advêm dessa condição, nomeadamente os apagões frequentes e a falta de resposta às solicitações da procura de energia elétrica. Na verdade, o aumento dos custos na geração de energia elétrica, em conjunto com a redução das receitas, tem imposto limitações à Electra, relativamente ao investimento na rede e na capacidade de geração de eletricidade, criando-se uma espiral negativa e insustentável (Gesto, 2011). O acesso à energia elétrica em Cabo Verde para suprir as diferentes necessidades continua muito deficitário sobretudo devido a um acelerado desenvolvimento urbano e à aposta no desenvolvimento do turismo como motor do desenvolvimento económico. O sistema produtor de energia elétrica atual em Cabo Verde regista uma instabilidade considerável, de um modo especial, quanto à garantia de fornecimento de energia às populações, causada sobretudo pela ocorrência de falhas e avarias nos grupos geradores, assim como pela ocorrência de defeitos nas redes de transporte e distribuição (MTIE, 2014a). Contudo, grande parte das perdas na rede tem a ver com o roubo e fraude no consumo de energia, que constituem consequências significativas tanto para a Electra, como para os consumidores. Segundo os dados da Electra, no ano 2012, as perdas da energia elétrica totalizavam um valor de 28,7% do total da energia produzida (Electra, 2012). Além disso, os constantes danos verificados nas linhas de distribuição de eletricidade têm contribuído para aumentar as perdas técnicas, colocando em risco o fornecimento regular e fiável de eletricidade (MTIE, 2014a). Para ECREEE (2014), tanto as perdas técnicas como as perdas não técnicas nas redes representam uma grande barreira para o desenvolvimento do setor energético. A Gesto (2011) acredita que a eliminação das perdas não técnicas poderá reduzir de forma considerável o custo de energia no país.

A grande dificuldade no abastecimento, tanto no setor energético como no setor hídrico, traz consigo consequências extremamente negativas para a qualidade de vida da população e ao desenvolvimento do país. Tendo em conta a importância e da necessidade destes setores, foi aprovada pelo Governo de Cabo Verde um documento de política energética que apresenta como objetivo atingir uma taxa de 50% da penetração das energias renováveis nas necessidades elétricas até 2020, com o intuito de aumentar a segurança do abastecimento e reduzir a dependência das importações (Gesto, 2011). Mas, recentemente refere MTIDE (2015a) já como meta 100% de energia renovável para o país em 2020. De modo a atingir este objetivo e reduzir significativamente a dependência face aos combustíveis fósseis, foi lançado um ambicioso Programa de Ação assente em cinco eixos principais: a) Preparar as

infraestruturas; b) Garantir o financiamento e envolver o setor privado; c) Implementar os projetos; d) Maximizar a eficiência; e) Lançar o *Cluster* das Energias Renováveis (Gesto, 2011). O objetivo é instalar mais de 140 MW de energias renováveis através de um plano de investimentos superior a 300 milhões de euros. Este plano permitirá, assim, a criação de mais de 800 postos de trabalho e, adicionalmente, atingir, em 2020, custos de geração de energia 20% inferiores aos atuais. Prevê-se ainda economizar cerca de 37 milhões de euros nas importações, o equivalente a cerca de 75 milhões de litros de fuelóleo ou gasóleo e diminuir em 225.000 toneladas das emissões de CO₂ (Gesto, 2011).

2.4 Energias Renováveis em Cabo Verde

Cabo Verde foi sempre um país dependente do exterior para suprir as suas necessidades energéticas. Contudo, este cenário tem-se alterado nos últimos anos. Com a integração de algumas fontes renováveis neste setor, tem-se verificado uma redução considerável na importação dos derivados de petróleo (MTIE, 2014a).

Desde 2010, a potência das FER tem aumentado significativamente em Cabo Verde (ECREEE, 2014), com a construção de novos parques eólicos e solares, duas fontes que, apesar de ainda representarem uma resposta reduzida para as necessidades energéticas, passaram a ser estatisticamente visíveis na oferta total de energia (MTIE, 2014b). A figura 6 apresenta a evolução da produção de energia elétrica com base em fontes renováveis, nos últimos anos.

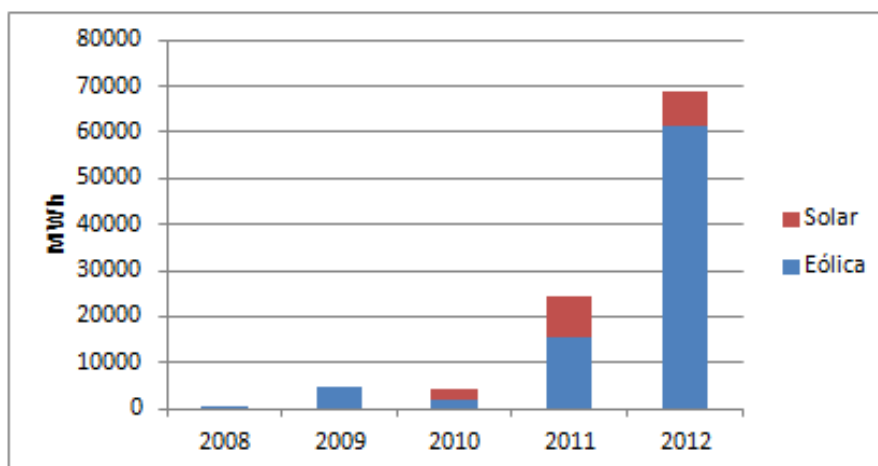


Figura 6 - Evolução da produção de energia em Cabo Verde a partir de energia renováveis (MWh)

Fonte: Electra (2012)

Na figura 7, é possível perceber a importância da produção de eletricidade gerada a partir de fontes renováveis nalgumas ilhas do país, durante o ano 2012. Os dados apresentados permitem ver que Santiago apresenta o maior nível de produção, com cerca de 34.190 MWh.

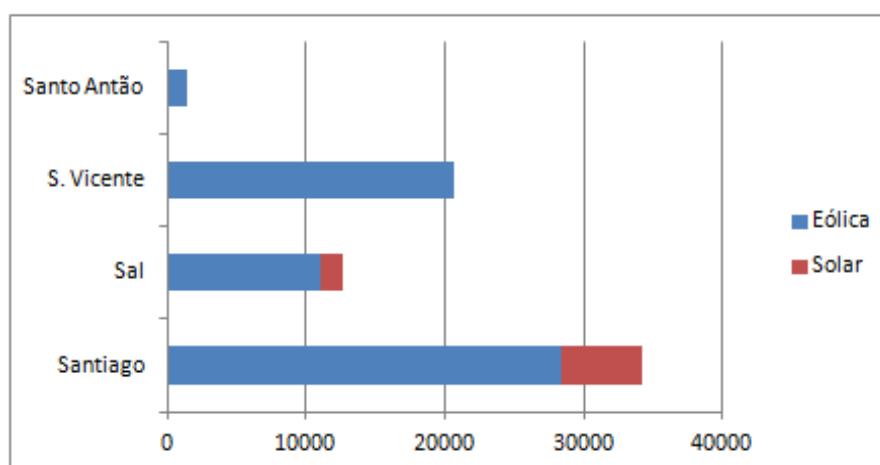


Figura 7 - Produção de eletricidade por fonte de energia e por ilhas (MWh)

Fonte: Electra (2012)

De acordo com ECREEE (2014), a potência de fontes renováveis, como a eólica e a solar, instalada na rede dos Estados Membros da Comunidade Económica do Estados da África Ocidental (CEDEAO), representa apenas 36 MW, estando concentrada principalmente em Cabo Verde, que se destaca como o líder regional, conforme se pode verificar na tabela 1.

Tabela 1 - Potencial renovável (eólica e solar) instalada em alguns Estados membros da CEDEAO em 2014

	Potência instalada (MW)		Potência total instalada (MW)
	Eólica	Solar FV	
Cabo Verde	26	6,4	32,4
Gâmbia	1	0	1
Gana	0	1,92	1,92
Nigéria	0,03	0,5	0,53
Total	27,03	8,32	35,85

Fonte: Elaboração própria (ECREEE, 2014)

Até inícios de 2014, havia cerca de 27 MW de potência instalada, em termos de energia eólica na CEDEAO. A principal central eólica da região situa-se em Cabo Verde, onde a Cabeólica dispõe de 25,5 MW, distribuídas pelas ilhas de Santiago (9,35 MW), São Vicente (5,95 MW), Sal (7,65 MW) e Boa Vista (2,55 MW). Com esta percentagem de energia eólica relativamente à produção total de eletricidade, Cabo Verde situa-se em segundo lugar a nível mundial, depois da Dinamarca (Cabeólica, 2014; cfr. Fig.8).

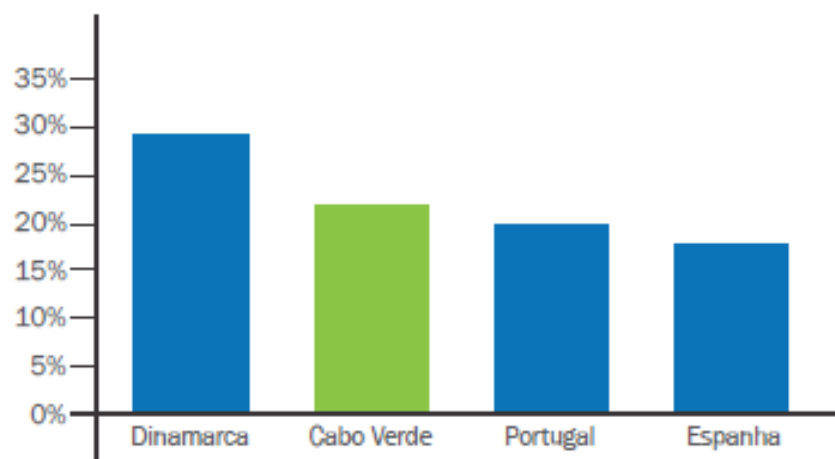


Figura 8 - Penetração da energia eólica em Cabo Verde

Fonte: Cabeólica (2014)

Estes projetos resultaram de uma Parceria Público-privada (PPP) entre três instituições (a Infraco Africa Limited, uma empresa de desenvolvimento de infraestruturas com sede no Reino Unido, a ELECTRA e o Governo de Cabo Verde), estando inicialmente prevista uma produção anual superior a 80 GWh por ano. Esta parceria tem como objetivo estratégico a redução da dispendiosa e poluente produção de eletricidade com base em produtos petrolíferos, a atração do investimento privado e o alívio da pressão sobre o setor público no financiamento exclusivo do setor energético de Cabo Verde (Cabeólica, 2014).

As instituições governamentais acreditam que esta iniciativa de produção de eletricidade para a rede nacional usando o vento - um recurso natural, não-poluente, renovável e localmente abundante - poderá ajudar a mitigar os problemas resultantes da procura crescente de energia e, conseqüentemente, reduzir a importação dos recursos altamente voláteis, financeiramente penalizantes e ambientalmente poluentes, que são os combustíveis fósseis. Com apenas 30 turbinas e 25,5 MW, os quatro parques da Cabeólica já reduziram o

volume de combustível importado em 20% e os custos da sua compra em três milhões de euros (EMBCV, 2014).

Apesar de produzir apenas uma pequena fração de emissões globais de GEE, Cabo Verde está entre as regiões mais vulneráveis do mundo aos efeitos das alterações climáticas. Segundo a agência cabo-verdiana de notícias, Inforpress (2011), o arquipélago é o sétimo país do mundo mais vulnerável às alterações do clima, o que indica que o país pode vir a ser duramente atingido pelos efeitos adversos das mudanças climáticas futuras, uma vez que a sua economia depende fortemente dos recursos naturais diretamente ligados ao clima, nomeadamente, a agricultura e o turismo (Ministério do Ambiente e Agricultura, 2007).

Na realidade, tem-se verificado algumas alterações no país, em termos de temperatura e da precipitação anual, como possível efeito das alterações climáticas sobre o arquipélago. De acordo com o PNUD, a temperatura média anual aumentou, desde 1960, cerca de 0.6°C, uma taxa média de 0.14°C por década, sendo que as projeções apontam para mais aumentos. Por outro lado, a média de precipitação anual desceu, com a estação de chuvas a ficar cada vez mais curta (McSweeney, New & Lizcano, 2012). A vulnerabilidade de Cabo Verde relativamente às alterações climáticas repercute-se em diversos setores, desde a agricultura, a água e o turismo. A elevação do nível da água do mar pode vir a afetar todas as ilhas do arquipélago, essencialmente as mais planas. Por outro lado, por ser um país em desenvolvimento, possui menos capacidade de resposta para este tipo de variabilidade natural do clima.

Segundo Connolly, Lund, Mathiesen e Leahy (2010), a conversão de um sistema energético dependente de combustíveis fósseis para um sistema de energia renováveis pode desempenhar um papel significativo na resolução destas questões. Para Alves et al. (2000), a utilização das energias renováveis poderá permitir o desenvolvimento sustentável de Cabo Verde, contribuindo para a redução da dependência das importações, para minimizar as emissões de CO₂, para criar postos de trabalho e melhorar a qualidade de vida.

Por isso, o país tem demonstrado um grande interesse na exploração de FER. A possibilidade de utilizar energias renováveis para a produção de eletricidade tem sido equacionada em estudos de Amaral et al. (2014) e Ranaboldo et al. (2014), os quais demonstram que cenários baseados em energias renováveis em Cabo Verde têm claros ganhos ambientais e económicos relativamente a cenários baseados em combustíveis fósseis. Também Alves et al. (2000) estudaram e analisaram o sucesso do uso de tecnologias de energias renováveis na ilha de Santo Antão, em Cabo Verde. Tinham como objetivo identificar as melhores estratégias para a otimização da matriz energética no país, tendo em

consideração os aspetos sociais, económicos e ambientais. Duic, Alves, Chen e Carvalho (2003) analisaram diferentes cenários para o desenvolvimento do sistema elétrico na ilha de Santiago. Os autores estudaram ainda como é que o Protocolo de Quioto, através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, poderia influenciar a transferência de tecnologias de energia limpa. Concluíram que, apesar de a geração da energia elétrica na ilha de Santiago ser feita maioritariamente a partir da central a *diesel*, um recurso caro e poluente, tal transferência é ainda mais adequada numa pequena escala. Os autores referem ainda que embora a redução de emissões em escala global seja pequena, existe um grande potencial para o estabelecimento de uma forte presença de tecnologias a partir de energias renováveis nos países em desenvolvimento. O modelo H₂RES foi aplicado de modo a projetar e analisar diferentes cenários da ilha de S. Vicente, com o objetivo de maximizar a penetração das energias renováveis no sistema energético. Os resultados demonstraram que é possível ter mais de 30% de penetração anual de fontes renováveis no sistema de fornecimento de energia elétrica, em conjunto com mais de 50% da água fornecida à população produzida a partir de energia eólica (Segurado et al, 2011). Um sistema hídrico com bombagem, com recurso à água do mar dessalinizada é proposto em Segurado et al. (2015) para a ilha de S. Vicente. Os resultados demonstraram que com a potência de energia eólica e o sistema de dessalinização já existentes, em conjunto com a instalação de um sistema hidro bombeado, é possível ter, até 2020, 36% da produção de eletricidade a partir de FER. Os autores defendem ainda que é possível atingir até 72%, caso seja considerada a instalação de mais potência de energia eólica e de dessalinização.

O MTIDE (2015a) considera a integração das energias renováveis no setor energético uma aposta estruturante para Cabo Verde, uma vez que garante a sustentabilidade da meta ao acesso universal à eletricidade, permitindo ainda uma maior independência energética, assim como o acesso à energia a um custo competitivo, tanto para as empresas como para as famílias cabo-verdianas. Alguns estudos apontam para grandes potencialidades em termos de energias renováveis em Cabo Verde (Gesto, 2011). De acordo com os resultados publicados no PERCV, o país possui um potencial estimado em cerca de 2.600 MW, (sendo os recursos solar e eólico os mais abundantes), tendo sido estudados mais de 650 MW em projetos concretos considerados Zonas de Desenvolvimento de Energias Renováveis (ZDER) (Figura 9).

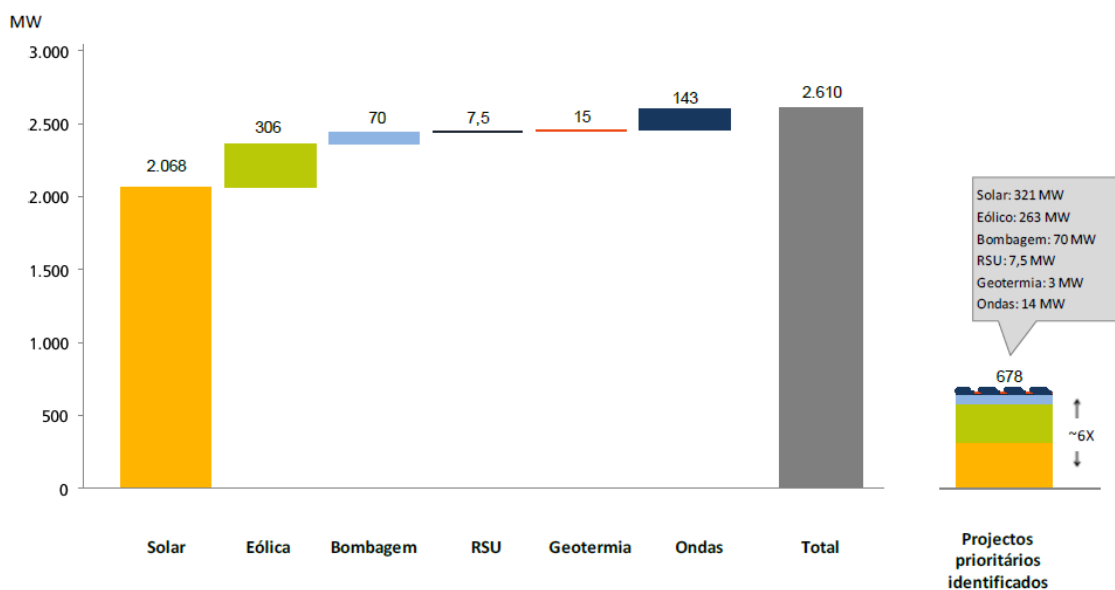


Figura 9 - Identificação das ZDER por tecnologia
 Fonte: Gesto (2011)

A tabela 2 demonstra a distribuição da potência de alguns projetos renováveis identificados nas diferentes ilhas do país, destacando-se Santiago com um total correspondente a cerca de 385 MW. De acordo com a mesma, a maioria das ilhas não apresentam potencial de produção de energia hidroelétrica, devido essencialmente ao reduzido escoamento anual médio e reduzidos desníveis face ao nível da água do mar.

Assim como os projetos hídricos, as centrais para a valorização energética de resíduos foram identificadas apenas nas ilhas de Santiago, particularmente no concelho da Praia, e em S. Vicente, no concelho de S. Vicente, uma vez que as restantes ilhas não apresentam uma produção de resíduos suficientes (Gesto, 2011). Segundo os dados do INECV, a população do concelho da Praia e S. Vicente representaram cerca de 29% e 15%, respetivamente, do total da população do arquipélago em 2015 (INECV, 2015). Por outro lado, a Caldeira, localizada na ilha do Fogo, foi a única zona identificada com algum potencial para a existência de recursos geotérmicos de alta temperatura (Gesto, 2011).

Tabela 2 - Repartição por ilha/tecnologia da potência dos projetos renováveis identificados em Cabo Verde

Ilha	Projetos Geotérmicos	Projetos Hídricos	Projetos Solares	Projetos RSU	Projetos Eólicos	Projetos Ondas	Total
Santiago		60	243	5	77		385
S. Vicente		10	8	3	27	4	51
Sal			20		46	4	69
S. Antão			10		36	4	49
Fogo	3		4		20		27
S. Nicolau			2		16		18
Boavista			30		22	4	55
Maio			3		14		17
Brava			1		6		7
Total	3	70	321	8	264	14	678

Fonte: Gesto (2011)

O objetivo do Governo no planeamento energético de atingir a meta dos 100% (MTIDE, 2015) das necessidades energéticas por recurso a fontes renováveis terá efeitos diretos na economia cabo-verdiana. Tendo em consideração a vulnerabilidade económica do país, que depende essencialmente, do apoio e investimento externos e do envio dos montantes das remessas dos emigrantes para o seu crescimento, é de extrema relevância analisar os impactos da implementação dos projetos ligados as energias renováveis na economia local.

Como já referido, esta perspetiva carecerá de um investimento de cerca de 300 milhões de euros (Gesto, 2011). Consequentemente, prevê-se o aumento da dívida externa do país, o que constitui obviamente um constrangimento para um país de fracos recursos como Cabo Verde. É importante salientar que, para além destes investimentos previstos, o arquipélago tem vindo a recorrer a recursos externos para financiamentos de outros projetos, nomeadamente estradas, portos, aeroportos, entre outros, agravando ainda mais a dívida externa do país. Na verdade, todas as grandes infraestruturas originadas por decisão do Governo de Cabo Verde são financiadas através de investimentos públicos essencialmente com fundos externos, o que tem impacto direto no aumento dos défices orçamentais em relação ao PIB e no aumento do stock da dívida externa (GCV, 2016).

No entanto, apesar destes projetos terem um contributo de extrema relevância no aumento do volume da dívida externa do país, a expectativa é que possam também trazer vantagens, nomeadamente o crescimento do PIB e seus efeitos positivos na balança de pagamentos (Gesto, 2011).

Acredita-se que o aumento da energia renovável no sistema energético de Cabo Verde permitirá não só reduzir as importações dos derivados de petróleo, mas também a consequente emissão de toneladas de dióxido de carbono. É pertinente salientar que a não emissão de CO₂ se traduz em benefícios financeiros para os países, uma vez que se evita assim um custo por emissão de tonelada de CO₂. Essa ideia é reforçada pela Gesto (2011) quando defende que esta poupança a nível das emissões de CO₂ se traduz, para além das emissões evitadas, num crédito de carbono que pode ser negociado nos mercados internacionais, com reflexos diretos na balança de pagamentos de Cabo Verde.

O aumento da participação das energias renováveis terá ainda uma influência sobre as tarifas de eletricidade e, consequentemente, nas tarifas de água estabelecidas no país. Na realidade, a redução do custo de geração de energia terá um impacto imediato nas famílias, na medida em que representa uma redução na fatura mensal de energia e água, aumentando assim o rendimento disponível, o que por sua vez irá implicar o aumento da poupança que poderá originar mais investimentos na economia. Por outro lado, esta redução terá um impacto positivo no setor da indústria e serviços, permitindo a criação de novas empresas, garantindo assim maior competitividade e novos empregos. Pois, *"a diminuição da importância do petróleo e demais combustíveis fósseis, ao contrário do que muito boa gente teme, não implica a extinção de empresas ou corporações do ramo petrolífero nem a delapidação de economias que dependem muito destes combustíveis, antes pelo contrário: o desenvolvimento das soluções renováveis alternativas permitirá evitar o consumo excessivo dos combustíveis fósseis, e ter uma "garantia" energética em caso de falha ou ocorrência de fenómenos imprevisíveis sobre os combustíveis fósseis"* (Peliganga & Silva, 2012: p. 4).

Este aumento deverá implicar grandes alterações no PIB, aumentando a contribuição das energias renováveis na formação do produto interno, como forma de atenuar a dependência de Cabo Verde (Gesto, 2011). Na verdade, o desenvolvimento das energias renováveis, numa economia como a de Cabo Verde, representaria não só uma viragem económica do país, mas também delinear uma visão de futuro, colocando o país na linha da frente dos países modelo no desenvolvimento das novas tecnologias e na procura de um modelo de desenvolvimento sustentável de toda a economia.

O setor das energias renováveis constitui, assim, um elemento chave para o crescimento da economia nacional, bem como para o cumprimento dos objetivos e compromissos assumidos pelo Governo ao nível nacional, nomeadamente no âmbito das políticas energéticas e ambiental.

2.5 Desafios do Setor Energético em Cabo Verde

Atualmente, um dos maiores problemas de Cabo Verde está relacionado com a segurança e a sua sustentabilidade de energia. A carência de fontes de energia convencionais, aliada à fraca penetração das fontes renováveis na matriz elétrica, tem colocado grandes desafios no setor energético nacional.

Neste sentido, a procura de novas alternativas mais sustentáveis, como a utilização das energias renováveis, tem sido apontada como um elemento chave para a resolução deste problema. Segundo Dell e Rand (2001), para um futuro sustentável, a energia deve ser proveniente de fontes não fósseis, confiáveis e seguras, flexíveis à utilização, acessíveis e sem limites. Para Rei, Fonseca, Duic e Carvalho (2002) a integração das FER na produção de eletricidade, juntamente com as políticas e regulamentos apropriados para a utilização racional de energia, constitui um aspeto muito importante para alcançar um desenvolvimento sustentável. Essa ideia é reforçada por Castro (2011) quando afirma que uma fonte de energia sustentável é aquela que não é substancialmente comprometida pelo seu uso continuado, não emite gases poluentes em quantidade significativas, não dá lugar a outros problemas ambientais e não envolve a perpetuação de problemas graves de saúde. Pereira et al. (2016) acreditam que a eficiência energética combinada com FER constitui uma estratégia chave para um futuro sustentável. Também Sudhakar e Painuly (2004) defendem que a principal característica de um sistema de energia sustentável tem a ver com a sua capacidade de fornecer serviços necessários sem esgotar recursos. Em consonância com essa ideia, Nogueira (2010) afirma que o desenvolvimento sustentável atua em duas vertentes: eficiência energética e produção de energia por fontes renováveis e não poluentes.

Todavia, alcançar esta realidade não constitui tarefa fácil. De acordo com Ferreira et al. (2016), para atingir este propósito, o planeamento de energia deve identificar a combinação de recursos que melhor atenda às necessidades futuras de energia, tendo em consideração os consumidores, os aspetos económicos, o meio ambiente e a sociedade. Assim, o primeiro passo para criar tal sistema passa pela utilização dos recursos de forma eficiente e pelo aumento de utilização de recursos renováveis (Sudhakar & Painuly, 2004).

Embora as previsões sejam otimistas em relação ao crescimento do setor renovável e das suas potencialidades, a literatura tem apontado uma série de desafios que podem restringir a implementação desta tecnologia no processo de geração de eletricidade, sobretudo nas ilhas. De acordo com Amaral et al. (2014), os sistemas de energia nos países em desenvolvimento possuem características específicas e obedecem a uma racionalidade particular, devido às suas

políticas, características geográficas e económicas. Isto é ainda mais evidente em ilhas devido ao seu isolamento, à falta de fontes de energia convencionais e à pequena dimensão do seu mercado (Alves et al., 2000).

No caso particular de Cabo Verde, em termos estruturais, o país tem de lidar com a fragmentação do arquipélago, tendo em conta a distância entre as ilhas que resulta em custos de transporte elevados, constituindo estes um impedimento ao seu desenvolvimento social e económico. Na verdade, o custo da insularidade constitui um fator de extrema relevância, uma vez que contribui para um custo acrescido para os cidadãos. Além disso, enquanto arquipélago, o país não beneficia de economia de escala, necessitando cada ilha das mesmas soluções em termos de infraestruturas. Por outro lado, o arquipélago não possui combustíveis fósseis o que leva a que apresente uma elevada dependência das importações de produtos petrolíferos para suprir a maior parte das suas necessidades energéticas, o que torna a situação ainda mais complexa.

O facto de as ilhas não estarem conectadas às redes de produção de eletricidade continentais faz com que a dependência de fontes de energia importadas seja frequentemente total, com consequências devastadoras para o meio ambiente e o desenvolvimento do país, tendo em consideração os elevados custos associados à importação destes recursos e dos poluentes libertados. Tal situação limita a implementação de medidas que permitam reduzir o impacto ambiental advindo da utilização das energias “tradicionais”.

Em suma, atualmente o país enfrenta diversas dificuldades em termos de energia, visto que para o fornecimento deste bem essencial às populações é necessário ter potência instalada nas nove ilhas habitadas. Na realidade, a dependência da importação de produtos petrolíferos, a volatilidade dos preços dos combustíveis fósseis e o custo do fornecimento da energia elétrica fazem de Cabo Verde um país altamente vulnerável em termos energéticos. O sector da energia apresenta-se, deste modo, como um desafio crítico para a realização da agenda de transformação do país.

Segundo MECC (2008) os desafios que se colocam ao setor energético em Cabo Verde são caracterizados por:

- **Fraca capacidade institucional:** A capacidade institucional e competências dentro do setor são altamente limitadas, especialmente no que diz respeito à formulação e implementação de políticas e à regulação;
- **Fraca capacidade de planeamento e de investimento no subsector elétrico:** A dependência de um único operador na produção de eletricidade é um desafio. A ELECTRA tem fraca capacidade para gerir e dar resposta ao aumento da procura;

- **Insularidade e descontinuidade do território nacional:** A geografia de Cabo Verde coloca enormes desafios ao setor. A importação e distribuição inter-ilhas de pequenas quantidades de combustíveis são altamente custosas;
- **Inadequação da capacidade de armazenamento e dos meios logísticos:** A capacidade de armazenagem de combustíveis, assim como os meios logísticos, estão inadequadamente distribuídos entre as ilhas. A ilha de Santiago representa cerca de 60% do consumo nacional de combustíveis e detém aproximadamente, apenas 10% da capacidade de armazenamento;
- **Sistema de produção e distribuição de energia elétrica deficiente:** A capacidade de produção e a rede de distribuição da energia elétrica e água são inadequados relativamente à procura, devido à falta de investimentos e à não integração das redes de distribuição. Esta situação conduz a enormes deficiências no setor da energia e água, com avultados prejuízos para as populações e para a economia;
- **Fraco sistema de incentivos à eficiência:** A fraca capacidade institucional que o sector de energia enfrenta não é propícia ao desenvolvimento e à inovação de políticas, resultando daí a quase inexistência de incentivos à melhoria e eficiência do sistema energético;
- **Fraca penetração das energias alternativas:** Cabo Verde possui excelentes condições para a energia eólica e solar. No entanto, apesar das condições favoráveis, o fator custo tem sido um dos principais obstáculos à sua adoção. Os avultados investimentos iniciais originam custos financeiros importantes, resultando em custos de produção superiores aos custos dos combustíveis fósseis;
- **Aumento da procura da água:** A procura de água está a aumentar, em parte, devido ao aumento do turismo e ao incremento das necessidades locais. A resposta a essas necessidades constitui um grande desafio para o setor de energia, tendo em conta a dependência de dessalinização. Cabo Verde terá que encontrar novas formas de dessalinização de água, com consumos de energia inferiores aos dos processos atuais.
- **Falta de sensibilização sobre o papel do sistema educativo e dos órgãos de comunicação social:** A noção de necessidade de conservação de energia e de redução da dependência de combustíveis fósseis é ainda escassa em Cabo Verde. A reformulação dos programas escolares e a introdução de atividades de sensibilização nos órgãos de comunicação social devem constituir uma prioridade.

De acordo com Sudhakar e Painuly (2004), compreender a dimensão e a natureza das barreiras/desafios é essencial para que as políticas de uso sustentado de FER sejam bem-sucedidas.

A necessidade de alcançar a sustentabilidade energética constitui, sem dúvida, um dos maiores desafios da atualidade e das gerações futuras, pois revela um grande potencial na melhoria das condições socioeconômicas dos países em vias de desenvolvimento através da redução do custo da energia e das emissões dos GEE, entre outros benefícios.

3. REVISÃO DA LITERATURA

O presente capítulo apresenta o enquadramento teórico da investigação, com especial destaque para as temáticas relacionadas com modelação e análise de sistemas de energia. São apresentadas diversas abordagens e modelos de planeamento elétrico estratégico entendido como planeamento de longo prazo. Tendo em consideração o país em estudo é abordado em detalhe o caso dos sistemas isolados, i.e., sem capacidade de interligação a outros sistemas. Na seção final, analisa-se a integração das energias renováveis, a sua importância para o desenvolvimento sustentável assim como os principais desafios e barreiras ao seu desenvolvimento.

3.1 Modelos de Planeamento Elétrico

O processo de decisão para a geração de energia elétrica passou por mudanças substanciais ao longo do tempo. Nas últimas décadas, os conceitos e modelos relacionados com o planeamento de um sistema energético foram-se alterando de acordo com os objetivos da sociedade e as preocupações da política energética. Portanto, vários aspetos antes não considerados tão importantes estão hoje suscitando, cada vez mais a atenção dos decisores (Pereira et al., 2016).

Até meados da década 70 do século passado, o problema de planeamento do sistema de energia elétrica consistia basicamente em determinar o tamanho ideal, o tempo e o tipo de central energética, tendo em conta a procura de eletricidade (Hobbs, 1995). Por um longo período de tempo, o consumo de energia *per capita* foi considerado uma medida de prosperidade da nação; quanto mais energia era consumida, mais desenvolvido o país seria (Amaral et al., 2014). Deste modo, antes da década de 70, o planeamento energético não exigia grandes esforços (Ribeiro, Ferreira & Araújo, 2011). O planeamento de um sistema de energia resumia-se à tarefa de assegurar a oferta de energia, na quantidade certa, no tempo certo e da forma mais económica possível (Meier & Mubayi, 1983; Samouilidis & Mitropoulos, 1982).

No entanto, este ponto de vista foi substancialmente alterado na sequência da primeira crise do petróleo, passando a procurar-se opções de fornecimento eficiente tendo como principal objetivo a otimização de custos (Georgopoulou, Sarafidi & Diakoulaki, 1998, citados por Ribeiro et al., 2011). Essa ideia que é reforçada por Colombo (1984) quando

afirma que a crise energética de 1970 veio mudar a maneira de pensar das pessoas, quando se aperceberam que o combustível fóssil não era assim tão abundante, tão disponível e tão barato como se pensava. Na realidade, a energia de origem fóssil deixou de ser barata devido ao elevado ritmo de extração, passando a haver mais consciência da natureza finita dos combustíveis fósseis (Castro, 2011).

Assim, tendo em consideração a incerteza relacionada com o limite do petróleo em conjunto com as questões económicas, fator crucial na tomada de decisão, o planeamento do sistema energético torna-se um problema cada vez mais desafiador (Ribeiro et al., 2011). Segundo Pereira et al. (2016), uma grande parcela de dinheiro é investida na construção, operação e manutenção de novas centrais de energia e das já existentes. Por isso, as ferramentas de otimização podem ser muito vantajosas na minimização desses custos inerentes às diferentes tecnologias tornando o sistema energético mais eficiente. Uma revisão abrangente de problemas de modelação de energia, abordando os modelos de planeamento energético e da utilização de ferramentas de otimização, pode ser encontrada em Jebaraj e Iniyar (2006), assim como em Foley et al. (2010).

O planeamento do sistema energético para a geração de eletricidade era muitas vezes abordado na literatura com o principal objetivo de minimizar o custo total, de acordo com as características de cada sistema elétrico (Tekiner, Coit & Felder, 2010). No entanto, a partir da década de 80, quando o público tomou conhecimento da devastação ambiental causada sobretudo pela elevada produção de energia elétrica baseada em derivados de petróleo, os decisores passaram a incluir no modelo as questões ambientais (Pohekar & Ramachandran, 2004). Desde então, o controlo e a redução de emissão de CO₂ assumiram um papel importante nas decisões em termos de política energética.

Assim, foram levados a cabo vários estudos sobre os modelos de planeamento de energia, privilegiando quer objetivos económicos, quer as questões ambientais. Diakoulaki, Antunes e Martins (2005) reconheceram a importância das decisões de energia com base nas questões económicas. Por outro lado, os autores defendem que a otimização de planeamento de energia exige não só a minimização do custo total, mas também a minimização dos impactos ambientais. Também Cai, Huang, Yang, Lin e Tan (2009) sublinharam a importância dos aspetos ambientais para a tomada de decisão de eletricidade em conjunto com outras preocupações, tais como os preços crescentes de combustível fóssil, e a viabilidade e a segurança do abastecimento a longo prazo, desafios essenciais tomados em conta pelos decisores em todo o mundo. Para Pohekar e Ramachandran (2004) e Løken

(2007), no âmbito do planeamento de sistema elétrico, é importante ter em consideração, além do critério económico, outros critérios tais como técnicos, ambientais e sociais.

Apesar das vantagens ambientais geralmente atribuídas à integração de tecnologia de energia renovável no sistema, este sistema pode aumentar a complexidade dos modelos, tornando mais difíceis as tarefas dos gestores da rede (Pereira et al., 2016). Também Karunanithi, Kannan e Thangaraj (2015) defendem que a produção de eletricidade baseada em FER introduz mais incertezas na operacionalização de um sistema energético. A mesma opinião partilha Ranaboldo et al. (2014) quando afirmam que os diversos recursos renováveis disponíveis e o número crescente de tecnologias para a sua utilização, em conjunto com os argumentos sociais e ambientais, exigem um planeamento e modelação de sistemas de energia mais complexo e exigente. Em consonância, Li, Huang, Li, Xu e Chen (2010) afirmam que a complexidade destes modelos se deve, em grande parte, à diversidade das tecnologias disponíveis para sistemas de expansão, à evolução do tempo e/ou local dos parâmetros incluídos no modelo, bem como, aos argumentos ambientais e sociais que é preciso integrar. Por outro lado, Sarafidis, Diakoulaki, Papayannaks e Zervos (1999) acreditam que a integração de elevados níveis de FER no sistema energético tem mudado a forma como a sociedade olha para o planeamento de energia elétrica, movendo-se a partir de uma perspetiva centralizada no setor da eletricidade para uma perspetiva regional e local.

Vários modelos especializados em resolver o problema de planeamento de energia com a participação crescente de FER têm sido desenvolvidos (Zhou, Lou, Li, Lu & Yang, 2010). De acordo com Lund, Krajacic, Duic e Carvalho (2005), os modelos computacionais têm sido desenvolvidos e tornaram-se ferramentas usuais para o planeamento e otimização dos sistemas de energia que visam aumentar a quota das energias renováveis. Para Amaral et al. (2014), o uso da tecnologia digital para o planeamento de energia é fundamental, uma vez que testar e experimentar situações no mundo real é, na maioria das vezes, impraticável ou muito caro. Estes autores defendem ainda que usar modelos virtuais para realizar tais experimentos oferece grandes vantagens, uma vez que isso permite declarar explicitamente os pressupostos que formam a base do modelo, sendo que as consequências lógicas de suposições dos modeladores são computadas e muitos fatores podem estar simultaneamente inter-relacionados. Pereira et al. (2016), por exemplo, usaram um modelo de otimização com o objetivo de minimizar o custo do sistema considerando diferentes cenários de integração das energias renováveis. Em Biswal e Shukla (2014) um modelo de planeamento da expansão de geração de energia elétrica foi apresentado para minimizar o custo, a fim de atender às futuras necessidades de energia elétrica de forma mais económica e ambientalmente e socialmente

aceitável. Com este trabalho, os autores pretendiam avaliar o impacto económico da integração da energia eólica no sistema em larga escala.

De facto, um grande número de modelos de otimização foi proposto para resolver o problema de planeamento energético. No entanto, é evidente que cada modelo tem de ser adaptado às características particulares do sistema sob análise, de tal forma que atenda às restrições técnica, geográfica, política, legal e ambiental. Para Pereira et al. (2016), esta realidade incentivou os autores a desenvolver e aplicar modelos específicos que descrevem facilmente o problema subjacente de modo a conduzir as simulações pretendidas.

Como referem Amaral et al. (2014), antigamente não existiam programas de computador para uma análise específica de um sistema de energia, dado que criar novas ferramentas para cada análise consumia demasiado tempo. No entanto, ao longo dos anos, várias ferramentas de *software* foram sendo desenvolvidas e usadas para criar modelos adaptadas a qualquer sistema de energia fornecido. Assim sendo, atualmente, em função da finalidade da análise a ser realizada, basta seleccionar a ferramenta de *software* adequada e adapta-la ao sistema em análise. Mas não esqueçamos que, a seleção de uma ferramenta de análise de sistema energético implica delinear, em primeiro lugar, os objetivos a cumprir e os elementos a avaliar.

De acordo com Meza, Yildirim e Masud (2009) e Pereira et al. (2016), um modelo de planeamento para o setor energético tem como objetivo determinar a melhor solução quer seja aplicado a um horizonte de planeamento de longo prazo, quer a um horizonte de curto prazo para a futura geração de energia eléctrica, devendo ter-se presente que decisões erradas podem resultar em perdas financeiras consideráveis. Portanto, a fim de alcançar este objetivo, os modelos de otimização para o planeamento da expansão e geração de energia eléctrica são vistos como ferramentas valiosas e eficazes para serem utilizados pelos decisores (Pereira et al., 2016). Segundo Hobbs (1995), os modelos de otimização são frequentemente utilizados para o planeamento de recursos e equipamentos, com um intervalo de tempo entre dez a quarenta anos.

3.2 Sistemas Isolados

Nas ilhas, devido ao seu isolamento e à sua pequena dimensão, os recursos energéticos tradicionais são limitados. Na verdade, para a maioria das ilhas do mundo e áreas remotas, o combustível importado continua a ser a principal fonte de obtenção de energia eléctrica

(Martins et al., 2009; Kuang et al., 2016). Exemplo disso é o caso de Cabo Verde onde cerca de 70% da produção de energia elétrica é baseada em derivados de petróleo.

Segundo Walker-Leigh (2012), para muitos dos Pequenos Estados Insulares em Desenvolvimento (PEID) as faturas de importação de combustível representam cerca 20% das importações anuais e entre 5% a 20% do PIB. Essa análise é corroborada por Kuang et al. (2016) quando afirmam que algumas ilhas gastam mais do que 30% do PIB em importações de combustível. Geralmente, nas ilhas o custo de energia elétrica é significativamente mais elevado, comparado com as regiões continentais (Duic & Carvalho, 2004). É de realçar que o custo de combustível aumenta quanto mais remota for a região, devido às dificuldades inerentes ao abastecimento destas localidades. É frequente a ocorrência de escassez de petróleo nas ilhas, devido essencialmente às más condições atmosféricas, tornando mais difícil o transporte de petróleo para chegar à plataforma de carga (Rei et al., 2002). Esses países apresentam assim, desvantagens estruturais ligadas à insularidade, cuja persistência prejudica gravemente o respetivo desenvolvimento económico e social (Chen et al., 2007).

Para Kuang et al. (2016) os elevados custos de cabos de transmissão submarinos constituem a principal barreira na ligação à rede entre ilhas e continente, bem como entre as ilhas adjacentes. Portanto, o fornecimento de eletricidade nas ilhas é geralmente instável. Além disso, a maioria das áreas rurais não são cobertas por redes de fornecimento de energia elétrica. Por conseguinte, os geradores a *diesel* distribuídos são frequentemente utilizados durante algumas horas à noite. Dado que os combustíveis são escassos nestes locais, o fornecimento de energia elétrica é muitas vezes afetado e até mesmo interrompido (Kuang et al., 2016).

Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE) estima-se que em 2013, cerca de 1,2 bilhão de pessoas em todo o mundo (um quinto da população mundial) não tinha acesso à eletricidade, sendo grande parte (superior a 95%), habitantes da África Subsaariana e Ásia em desenvolvimento, oriundas das zonas isoladas e das ilhas (cerca de 80% do total mundial) – áreas típicas com baixa cobertura de energia elétrica (IEA, 2015; Shyu, 2014). Podemos citar, por exemplo, as ilhas do Pacífico, onde cerca de 70% das famílias ainda não têm acesso à eletricidade, sendo que 96% residentes rurais das ilhas Salomão dependem sobretudo dos combustíveis tradicionais para a iluminação (Dornan, 2014).

Esta realidade é naturalmente comum às pequenas ilhas, especialmente as que se encontram em desenvolvimento, devido a dificuldade no abastecimento de combustível, causadas sobretudo pelas más condições atmosféricas e pelo seu isolamento, e bem como pela fraca capacidade destas para combater a volatilidade dos preços do mercado petrolífero.

Contudo, apesar das fragilidades relativamente à segurança energética com as quais são confrontadas, o potencial das energias renováveis como a eólica, solar, hídrica e a biomassa, embora diferente em cada ilha, tem sido apontado como um elemento chave para a resolução deste problema (Weisser, 2004).

Não obstante, apesar de apresentarem um considerável potencial em fontes renováveis (Kuang et al., 2016), muitas continuam a depender, essencialmente da importação de combustíveis fósseis para satisfazer as suas necessidades energéticas (Martins et al., 2009). Refira-se, todavia, que por serem insulares, estas regiões produzem apenas uma pequena fração das emissões globais de GEE. No entanto, estão entre as regiões mais vulneráveis do mundo aos efeitos das alterações climáticas, como a subida do nível da água do mar e as condições climáticas extremas (Rei et al., 2002). Na verdade, *"os poluentes emitidos através dos processos de geração de eletricidade tradicional não se concentram, necessariamente, em contexto regional, podendo atingir outros países em decorrência da relação de interdependência entre os ecossistemas"* (Barbieri, 2007, citado por Nascimento, Mendonça & Cunha, 2012).

A crescente preocupação ambiental, a variabilidade dos preços dos combustíveis fósseis, aliada à falha/falta do seu abastecimento nas ilhas, que conseqüentemente, tem comprometido o fornecimento seguro de energia elétrica, obrigaram os habitantes destas a procurarem alternativas mais sustentáveis para resolver este problema (Kuang et al., 2016). De facto, grandes esforços têm sido feitos para impulsionar e desenvolver tecnologias de energia alternativa para lidar com a escassez de eletricidade nas ilhas. Todos os anos, os PEID convocam reuniões para partilhar experiências e elaborar planos acerca da segurança energética nas ilhas (SIDS, 2016). Além disso, a IRENA criou uma *Global Renewable Energy Islands Network* (GREIN) para estabelecer uma plataforma de intercâmbio e cooperação para o desenvolvimento de energia renovável nas ilhas (Kuang, et al., 2016).

Lund et al. (2005) afirmam que a utilização das fontes renováveis na geração de eletricidade é uma realidade especialmente adequada para as ilhas e áreas remotas. Também Amaral et al. (2014) referem que a integração de FER no sistema energético em pequenas ilhas apresenta várias vantagens, nomeadamente a nível económico, uma vez que o seu elevado custo de investimento é compensado pela pequena dimensão do sistema e pela redução na importação do combustível caro. Em consonância, Segurado et al. (2011) afirmam que a integração das fontes renováveis no sistema energético em pequenas ilhas apresenta vantagens tanto ao nível económico como ambiental, visto que as técnicas de produção de

eletricidade que recorrem a combustíveis fósseis podem causar sérios danos no ecossistema e habitats naturais.

Apesar de algumas ilhas ter aumentado a participação dos recursos renováveis no sistema, a maioria padece ainda das dificuldades no abastecimento de eletricidade às populações, uma vez que apenas uma pequena proporção (menos de 10%) do total da energia elétrica produzida provém de fontes renováveis (Kuang et al., 2016).

Para Vijayapriya e Kothari (2011) o desenvolvimento de tecnologias avançadas, incluindo comunicação, monitorização, controlo e *self-healing*, tem permitido uma maior incorporação de FER no sistema elétrico para o fornecimento de eletricidade. Também Kuang et al. (2016) afirmam que os avanços tecnológicos, aliados à crescente procura de formas de geração de eletricidade com baixa emissão de CO₂, têm tornado a utilização de energia renovável uma alternativa promissora para o abastecimento sustentável de energia elétrica nas ilhas.

No entanto, as características inerentes às fontes renováveis, tais como a intermitência da energia eólica e solar, a sazonalidade da energia hidráulica, entre outros, têm levantado questões relacionadas com o equilíbrio entre a oferta e a procura, uma vez que têm comprometido a continuidade e confiabilidade no fornecimento de eletricidade (Kuang et al., 2016). Essa ideia é reforçada por Segurado et al. (2011; 2015) quando afirmam que um dos principais desafios da introdução de FER num sistema isolado é a integração de alguns desses recursos na rede de abastecimento da energia elétrica, visto que a natureza intermitente dessas fontes impõe barreiras, tais como dificuldades no abastecimento, assim como a gestão da rede.

Devido a sazonalidade inerente, variabilidade, periodicidade, entre outras características associadas às FER, na geração de eletricidade baseada numa única fonte renovável, como a solar, eólica, geotérmica e geração de energia hidrelétrica, nem sempre permite garantir a segurança no abastecimento (Duic & Carvalho, 2004). Por outro lado, Ma, Yang e Lu (2014) afirmam que o uso independente de uma única fonte de energia numa rede isolada exige geralmente um sistema de geração e armazenamento de energia de grande dimensão, que por sua vez requer um custo operacional mais elevado.

De acordo com Castro (2011), embora seja desejável incorporar uma percentagem significativa de fontes renováveis, devemos ter presente que o sistema não pode ser operado com base num portefólio de fontes maioritariamente renováveis, em especial, eólicas, uma vez que estas são, por natureza, não controláveis; pois a velocidade e a direção dos ventos estão constantemente a variar no tempo. Em consonância, Amaral et al. (2014) defendem que

uma maior integração das tecnologias de energias renováveis requer uma mudança do processo de planejamento tradicional e uma organização de sistemas de energia.

Por outro lado, para os países em desenvolvimento ou áreas isoladas/ilhas a produção de energia elétrica baseada em FER impõe algumas barreiras relativamente ao custo. Na realidade, o aproveitamento das energias renováveis para a geração de eletricidade não tem de lidar apenas com dificuldades originadas, maioritariamente, pelo carácter irregular da maioria das fontes renováveis existentes, mas também com questões económicas. Segundo Sudhakar e Painuly (2004), os custos iniciais das tecnologias com recurso à energias renováveis constituem constrangimentos económicos e financeiros para muitos consumidores, impedindo a sua adoção. Os autores afirmam ainda que, muitos consumidores optam por manter o custo inicial baixo, em vez de minimizar os custos operacionais que se obtêm ao longo dos anos com a implementação desta tecnologia, de modo a equilibrar os custos de investimentos e os custos operacionais em curso. Esta tendência verifica-se, sobretudo, nos países com baixos rendimentos e que carecem de capital e/ou de crédito.

Embora o custo de investimento represente um grande obstáculo na incorporação de FER na rede elétrica, o que mais tem preocupado os responsáveis são a variabilidade e aleatoriedade dessas fontes, que dependem sobretudo das condições climáticas. Assim, tendo em consideração que o padrão de consumo de energia elétrica é altamente variável no tempo, é necessário que o sistema possua fontes de energia controláveis, capazes de promover o encontro entre geração e consumo (Castro, 2011). Neste sentido, uma série de medidas eficazes têm sido empregues, incluindo armazenamento de energia, *microgrid*, sistema de energia renovável híbrido, gestão da procura, da produção distribuída e rede inteligente, de modo a garantir um fornecimento contínuo e seguro de eletricidade a partir de uma participação significativa de fontes renováveis na rede elétrica (Kuang, 2016).

Têm sido realizados vários estudos sobre a incorporação das FER no sistema elétrico das ilhas. Neves, Silva e Connors (2014) avaliaram diversos tipos de projetos desenvolvidos em diferentes micro-comunidades, i. e., pequenas ilhas e aldeias remotas. Os autores analisaram um conjunto de indicadores relacionados com a caracterização desses locais, com o intuito de identificar os fatores determinantes para o sucesso da implementação das FER e de verificar como estes diferem entre as ilhas e aldeias remotas. Concluíram que, em ilhas, os principais fatores que influenciam a obtenção de maiores percentagens de FER são o *design* do sistema de energia existente, a presença de um sistema de armazenamento de energia confiável e o perfil da procura de energia elétrica, especialmente a ocorrência de picos de procura e oscilações sazonais. Em Zhou, Benbouzid, Charpentier, Sculler e Tang (2013) é

apresentada uma visão geral e o estado da arte das tecnologias de armazenamento de energia. Foram comparadas e analisadas, em particular, as características de diferentes tecnologias abordadas. Uma revisão abrangente sobre várias tecnologias de armazenamento de energia para aplicações de energia eólica pode também ser encontrada em Díaz-González, Sumper, Gomis-Bellmunt e Villafáfila-Robles (2012). Para apoiar o sistema híbrido numa ilha remota em Hong Kong, Ma et al. (2014) defendem a tecnologia de armazenamento hídrico com bombagem. Na realidade, os autores pretendiam explorar uma nova solução para o armazenamento de energia elétrica. Entretanto, concluíram que, tecnicamente, o sistema de energia renovável baseado em armazenamento hídrico com bombagem é a solução ideal para atingir os 100% da energia autónoma em comunidades remotas. Um sistema híbrido com recurso às FER para a geração de eletricidade foi também proposto por Dhrab e Sopian (2010), para aplicações na rede conectada em três cidades no Iraque. O sistema proposto foi simulado usando *solver* MATLAB, cujo os parâmetros de entrada foram os dados meteorológicos dos locais selecionados e os tamanhos dos painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas. Os resultados demonstraram que é possível, utilizando a energia solar e eólica, gerar energia suficiente para algumas aldeias no deserto ou área rural, do país. Outros estudos, abordaram sistemas de energias híbridos, nomeadamente Bilal, Sambou, Ndiaye, Kébé e Ndongu (2010) e Ma, Yang, Lu e Peng (2014).

3.3 Integração das Energias Renováveis

A geração de eletricidade pode basear-se em dois tipos de energia primária: a energia renovável e a não-renovável. A energia renovável é um recurso natural com capacidade de se reproduzir através de processos biológicos ou naturais, sendo naturalmente reabastecida com o passar do tempo (Nogueira, 2010; Gudelj & Krčum, 2013). Em termos de disponibilidade, as energias renováveis podem ser divididas em duas categorias: aquelas que são constantes e contínuas, possuindo uma capacidade de armazenamento intrínseca, como biocombustíveis, hidráulica, geotérmica e oceano-térmico; e aquelas que são variáveis e intermitentes, sem dispor de tal capacidade. Esta categoria é subdividida em recursos que variam periodicamente ou ciclicamente, como a energia solar e das marés, e aqueles que variam um pouco mais aleatoriamente, como a energia do vento e das ondas (Rei et al., 2002). Por outro lado, a energia não renovável é aquela que é transformada a partir das fontes que estão disponíveis na terra, em quantidade limitada ou cuja produção é menor do que a sua taxa de consumo. Esta

pode ser dividida em dois tipos: o combustível fóssil e o combustível nuclear (Connolly et al., 2011; Ribeiro et al., 2011).

Comparando estas duas fontes de energia, as não renováveis são limitadas no que diz respeito à sua oferta, sendo a sua atividade a principal responsável pelas emissões de poluentes e GEE, além do seu preço que aumenta à medida que se tornam mais escassas; ao contrário das energias renováveis, que são fontes ilimitadas totalmente limpas, uma vez que a sua atividade não liberta resíduos para o meio ambiente, e não se encontram sujeitas a variações de preço significativas (Ferreira, Trindade, Martins & Afonso, 2003; Rodrigues, Pinto, Monteiro, Pedrosa & Afonso, 2014).

Segundo Chen et al. (2007), a tecnologia baseada em energia renovável é uma solução que produz energia, transformando recursos naturais em formas de energia útil. No entanto, dada a sua natureza difusa, intermitente, maturidade tecnológica específica e a situação do mercado, o processo de planeamento de energia renovável é totalmente diferente do planeamento energético tradicional (Amaral et al., 2014).

Goldemberg e Lucon (2007) afirmam que o processo de produção de eletricidade tradicional tem originado, ao longo da história, uma série de efeitos ambientais, como a emissão de GEE, colocando em risco a sustentabilidade, a longo prazo, do planeta. Para Akella, Saini e Sharma (2009) o sistema energético à base de óleo, carvão e gás natural está a prejudicar o progresso económico, o ambiente e a vida humana. Neste sentido, Peliganga e Silva (2012) afirmam que as sociedades mais desenvolvidas têm potencializado novas fontes de energias, denominadas de alternativas, com o objetivo de diminuir a sua dependência do petróleo e demais combustíveis fósseis, e assumir uma posição de maior responsabilidade mundial na preservação do meio ambiente.

Para Rei et al. (2002) os efeitos provocados, sobretudo, pela elevada produção de energia elétrica com base em fontes de energia não renováveis, têm incentivado vários agentes mobilizadores, nomeadamente a sociedade, empresas e instituições públicas, a refletirem de forma mais ativa sobre questões relacionadas com a sustentabilidade em diferentes perspetivas (económica, social e ambiental) em busca de uma nova forma de desenvolvimento mais sustentável. Guarnieri, Pereira, Martins e Chan (2006) acreditam que razões de ordem económica e social têm despertado interesses para a integração de FER, desde o aumento da procura de energia, especialmente nos países em desenvolvimento, a crise internacional que afeta o preço do petróleo e, sobretudo, as perspetivas de um futuro esgotamento das reservas do combustível fóssil. Em consonância, Mota, Silva e Gonçalves (2009) afirmam que o constante aumento da procura de fontes de energia, as mudanças

climáticas causadas pelo aquecimento da atmosfera e o esgotamento das reservas de petróleo de fácil extração, aliado a um desenvolvimento socioeconômico mais intenso, sobretudo nos países em vias de desenvolvimento, têm incentivado a utilização de consumos renováveis que possam substituir, ao menos parcialmente, os combustíveis de origem fóssil. Também Dagdougui, Minciardi, Ouammi, Robba e Sacile (2010) referem que questões de segurança no abastecimento de energia sustentável têm levado tanto os países desenvolvidos, como os que estão em vias de desenvolvimento a implementar novas políticas e a adotar alternativas, como sistemas de energia renováveis, com o intuito de melhorar a eficiência no abastecimento de energia. Yu, Zhang, Xiao e Choudhury (2011) afirmam que as preocupações com as alterações climáticas, o aumento dos preços do combustível fóssil e a necessidade de aumentar a segurança energética têm despertado um grande interesse em todo o mundo no que diz respeito aos recursos energéticos renováveis. Peliganga e Silva (2012) vão mais longe, afirmando que a escassez do petróleo, as consequências de conflitos e guerras civis como desastres humanitários, êxodos populacionais, pobreza extrema e enriquecimento brutal e inimaginável de um pequeno número de indivíduos, provocados pela procura, produção e venda do petróleo e outros combustíveis fósseis, fizeram com que as sociedades desenvolvidas investissem na investigação e desenvolvimento de novas fontes energéticas que garantissem um desenvolvimento mais sustentável, ou seja, um desenvolvimento que consiga satisfazer as necessidades presentes sem comprometer as necessidades futuras. Simultaneamente, as questões ambientais e sociais começam a ser equacionadas sobretudo no que se refere à degradação ambiental, que é o resultado da queima de combustíveis fósseis e com os consequentes efeitos sobre a saúde humana (Amaral et al., 2014).

Segundo o Painel Intergovernamental das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (IPCC), desde 1850, o planeta aqueceu, em média, 0,75°C; sendo esta pequena alteração responsável por grandes mutações no clima, com consequências devastadoras nos *habitats* de diversos seres vivos, destruindo para sempre muitas espécies (Nogueira, 2010). Por outro lado, desde 1850, os glaciares perderam cerca de 50% do seu volume. Em 2005, cientistas ingleses concluíram que as temperaturas mais altas do Planeta foram responsáveis, nos últimos 30 anos, por um aumento de 2,2% da humidade da terra (Nogueira, 2010). Ou seja, o limite do uso do combustível fóssil não se dá somente pelo esgotamento das reservas, mas também pela cada vez mais reduzida capacidade ambiental do planeta absorver os gases oriundos da sua combustão (Mota et al., 2009).

Embora o eventual esgotamento do combustível fóssil represente um incentivo de longo prazo para o desenvolvimento sustentável de novas formas de energia, os incentivos mais

urgentes em enfatizar as energias renováveis estão relacionados com a qualidade do ambiente a nível global. Essa percepção é reforçada por Akella et al. (2009) quando referem que a maior preocupação, tem hoje a ver com a ameaça do aquecimento global, relacionada com o aumento das concentrações de CO₂ e outros poluentes atmosféricos decorrentes das atividades antrópicas. Assim, para além da preocupação com o possível esgotamento dos derivados do petróleo e o conseqüente aumento do preço associado a este recurso que, conseqüentemente, tem elevado os custos de produção de energia, o aumento dos índices de poluição, o aumento da temperatura e as mudanças climáticas tornaram-se uma preocupação a nível das nações, culminando com o protocolo de Quioto que visa a redução da emissão dos GEE por parte dos países industrializados.

Ao ritmo que a procura de energia elétrica tem aumentado, e tendo em consideração que as previsões apontam para ainda mais aumento a médio ou longo prazo, torna-se urgente a integração das FER no sistema elétrico. Caso contrário, o consumo do combustível fóssil continuará a aumentar. Neste contexto, o aumento da procura de eletricidade constitui um grande desafio para a segurança energética, ao comprometer um futuro energético seguro e sustentável. Nessa perspetiva, pressupõe-se que a procura excessiva por geração da energia elétrica reduz oportunidades de desenvolvimento e prejudica o meio ambiente (Cohen, 2002). Portanto, a redução da dependência da produção de energia elétrica a partir dos combustíveis fósseis já não é somente uma questão financeira, ou económica, nem muito menos ideal, mas sim uma necessidade existencial ou de sobrevivência da própria humanidade (Peliganga & Silva, 2012).

É nessa linha de raciocínio que uma série de alternativas em relação à geração de energia vêm sendo desenvolvida ao longo dos últimos anos, tendo em consideração questões ambientais, tecnológicas, políticas e sociais. Na realidade, novas alternativas mais sustentáveis, como a utilização das energias renováveis, têm sido apontadas como um elemento chave para a resolução deste problema; pois, esta técnica prevê uma abordagem limpa e sustentável para a produção de energia, que irá ajudar a garantir a segurança no abastecimento energético e na realização dos objetivos do protocolo de Quioto (Lund et al., 2005).

Sadeghi, Mohammadian, Abdollahi, Rashidinejad e Mahdavi (2014) destacaram a importância de centrais de energia renovável como uma alternativa para os sistemas tradicionais, a fim de reduzir as emissões de GEE. Os autores avaliaram ainda o impacto da integração das FER no sistema energético, evidenciando que as energias renováveis têm uma influência positiva sobre as emissões de gases.

Na verdade, diversas são as vantagens da utilização das energias renováveis no sistema energético. Embora os fatores ecológicos sejam os mais relatados, outros como o desenvolvimento ou a redução do déficit energético dos países ao nível local e regional, não devem ser menosprezados. Em consonância, Castro (2011) afirma que a incorporação de FER na rede elétrica tem vantagens que não podem ser desvalorizadas, tais como: a redução do consumo de combustíveis fósseis e dos impactos ambientais associados, maior segurança no aprovisionamento energético e redução da dependência energética de outros países. Para Akella et al. (2009), a integração das energias renováveis apresenta as seguintes vantagens: redução da poluição do ar e das emissões de GEE, menor impacto sobre as bacias hidrográficas, redução no transporte de recursos energéticos e o tempo de vida de longo prazo das tecnologias de energia renovável. Em termos sociais, esta tecnologia poderá garantir a melhoria na saúde, uma maior autossuficiência, oportunidades de trabalho e avanços tecnológicos. Também Sudhakar e Painuly (2004) acreditam que o aumento da utilização de FER irá não só reduzir os impactos ambientais adversos do uso de energia, mas também atender à crescente procura desta. De facto, a boa integração destas fontes pode trazer grandes benefícios, como o aumento da segurança no abastecimento de energia, maior qualidade ambiental e maior eficiência económica. Por outro lado, a utilização de FER pode reduzir a dependência de importação de combustíveis fósseis de outros países (Cosic Krajcic & Duic, 2012). Esta ideia é reforçada por Peliganga e Silva (2012: p. 4) quando referem que *"uma posição ativa e firme de todas as nações mundiais no desenvolvimento de soluções energéticas renováveis e alternativas - e sustentáveis - permitirá não só diminuir ou minimizar as agressões antropogénicas ao meio ambiente, como também aumentar consideravelmente o leque de soluções energéticas, que terá como consequência, a redução ou minimização da importância excessiva que o petróleo e os restantes combustíveis fósseis possuem atualmente no panorama energético e económico mundial"*.

Neste contexto, as fontes renováveis parecem ser mais sustentáveis que os combustíveis fósseis, pois são praticamente inesgotáveis e o seu uso provoca emissões mais reduzidas de gases nocivos ou outros poluentes, não tendo sido identificados problemas de saúde significativos com elas relacionadas (Castro, 2011). Em consonância, Kinner (2010) afirma que a energia renovável tem sido, cada vez mais, vista como uma possível solução para problemas como as alterações climáticas, o crescimento populacional, desenvolvimento económico e as limitações das fontes de energia tradicionais.

Kuang et al. (2016) afirmam que muitos países, incluindo os insulares, têm aumentado a quota de FER no fornecimento de energia, incluindo a adoção de estratégias para um sistema

100% renovável. Na verdade, a fim de reduzir a dependência de combustível fóssil na geração de energia elétrica, tem havido um aumento considerável na instalação de energias renováveis ao longo dos anos; a capacidade de geração de energia elétrica a partir de FER tem crescido fortemente em todos os setores de utilização, incluindo a energia eólica, energia solar fotovoltaica, hidroelétrica, geotérmica, solar e, mais recentemente, a biomassa.

Segundo os dados publicados pelo UNEP (2016), em 2015, pela primeira vez na história, as energias renováveis representaram a maioria dos GW de nova capacidade de geração de energia elétrica instalada a nível mundial. Os dados apontam para uma percentagem de 53,6% (contra 49% em 2014 e 40,2% em 2013), sendo as energias solar fotovoltaica e eólica as dominantes. No entanto, apesar deste aumento, as principais fontes de geração de energia elétrica continuam a ser os combustíveis fósseis que representaram cerca de 90% em 2015.

De acordo com a figura 10, em 2015, as energias renováveis, com exceção das grandes centrais hidroelétricas, representando cerca de 16,2% do total da potência instalada, foram responsáveis por apenas 10,3% da geração mundial de eletricidade. Esta quota de 10,3% da geração global evitou a emissão de 1,5 Gt de CO₂. Não obstante, as previsões apontam para mais aumentos da participação das energias renováveis na geração de eletricidade mundial nos próximos anos (UNEP, 2016).

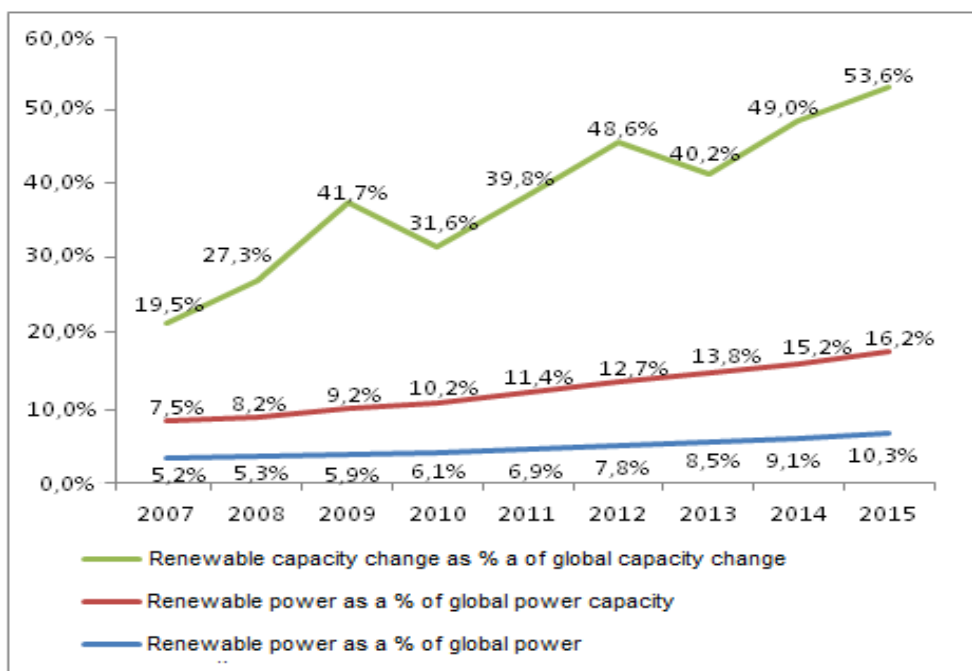


Figura 10 - Geração da Energia Renovável e capacidade em percentagem a nível global (2007-2015)

Fonte: UNEP (2016)

No entanto uma alteração de paradigma dos sistemas energéticos fortemente suportados em energias renováveis não é consensual. Peliganga e Silva (2012) consideram pouco realista, ou até mesmo anedótico, a ideia de que se pode baixar até menos de 50% a dependência mundial nos combustíveis fósseis para satisfazer as necessidades energéticas mundiais atuais e quiçá futuras. Para os autores, de momento, é quase impossível as sociedades modernas alcançarem níveis de desenvolvimento superiores ou iguais aos atuais sem o recurso aos combustíveis fósseis, uma vez que estes estão presentes praticamente em quase todos os setores industriais, aéreas, técnico-científicas e tecnológicos das nações desenvolvidas e subdesenvolvidas, direta ou indiretamente. Na verdade, *"os combustíveis fósseis são importantes inclusive para produção das próprias energias renováveis; isto é, para fabricação dos painéis e coletores solares e seus elementos estruturais, na produção de turbinas eólicas, para produção de biomassa, etc."* (Peliganga & Silva, 2012: p. 4). No entanto, os autores acreditam que, fundamentalmente, com as energias renováveis se pode diminuir a dependência energética mundial dos combustíveis fósseis.

De acordo com o relatório da *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century* (REN21) (2013), a energia renovável tem tido historicamente muitos detratores. Como recorda o UNEP (2016), as tecnologias de energias renováveis, como eólica e solar, costumavam ser vistas por alguns críticos como um luxo, acessíveis apenas às partes mais ricas do mundo. Na verdade, os detratores afirmavam que a energia renovável é muito cara, considerando que cada vez mais subsídios públicos seriam necessários por um longo período de tempo e que as energias renováveis só estão a desenvolver, porque há apoio político. As tecnologias de energias renováveis são consideradas por muitos relativamente imaturas e exigindo mais pesquisas. Outra grande limitação tem sido a variabilidade das energias renováveis. Os detratores defendiam que esta variabilidade significava custos elevados por causa da necessidade de armazenamento de energia, o que levou a que muitos considerassem o uso das energias renováveis como sendo "muito difuso" para satisfazer as necessidades de energia altamente concentrada na sociedade industrial moderna (REN21, 2013).

Muito embora os benefícios da incorporação de FER na produção de eletricidade sejam inquestionáveis, há aspetos negativos que não podem ser negligenciados. Para Castro (2011), a principal desvantagem das FER relaciona-se com a dificuldade de controlo sobre o padrão de produção renovável. Esta ideia é partilhada por Dagdougui et al. (2010) quando afirmam que uma desvantagem comum a este tipo de recurso tem a ver com o seu comportamento e a sua variabilidade. Também Yu et al. (2011) acreditam que a natureza intermitente de algumas

fontes renováveis pode dificultar a sua integração na rede. De facto, à medida que a quantidade de energia renovável a ser adicionada à rede elétrica aumenta, simultaneamente, aumenta a complexidade da rede, tornando assim os consumidores totalmente dependentes da variabilidade desses recursos para satisfazer as suas necessidades energéticas (Rei et al., 2002). A tabela 3 apresenta um resumo das barreiras à integração das energias renováveis no sistema, classificando essas barreiras, as entidades relacionadas (organização do sistema ou indivíduos) e fatores associados e finalmente fundamentando a relevância das barreiras identificadas.

Tabela 3 - Taxonomia de barreiras da integração de energia renováveis no sistema

Barreiras	Entidades	Fatores	Fundamentos
Sensibilização e informação	Organização	Acesso a informação	A falta de informação específica, simples e disponível, atempadamente torna difícil tomar a decisão pertinente.
Financeiro e económico	Organização e indivíduo	Acesso a capital	As empresas não podem investir em FER, devido ao seu custo elevado.
		Heterogeneidade	A integração das FER pode ser rentável, em média, mas os custos ocultos (custo de O&M, inconveniente, e os custos associados à recolha e análise de informação) podem ser elevados.
Mercado	Organização	Falha de mercado	O mercado das FER está sujeito a concorrência imperfeita com as tecnologias convencionais. A incerteza nos preços futuros (convencional, bem como renovável).
Técnico	Organização	Risco	O investimento em FER representa um risco técnico ou financeiro mais elevado do que as tecnologias convencionais.
Institucional e regulamentar	Organização		Nenhum mecanismo institucional para as FER e de controlo que regule <i>utilities</i> (fornecimento de energia convencional) conduzindo a preços baseados em custos marginais.
Comportamental	Indivíduo		Os consumidores resistem à mudança (não estão interessados em mudar de uma tecnologia para outra). Restrições de tempo, atenção e a capacidade de processar informação levam a decisões que não são racionais.

Fonte: (conceção própria, a partir de dados retirados em Sudhakar e Painuly (2004))

Demonstra-se assim que as barreiras à entrada de energias renováveis não são apenas de natureza técnica, sendo de destacar as questões organizacionais e políticas, uma vez que um sistema renovável implica uma alteração significativa de paradigmas instituídos durante décadas e também os fatores humanos, sendo os consumidores também responsáveis pelas mudanças quer pela sua participação, por exemplo em sistemas distribuídos, quer pelas exigências ambientais que devem colocar aos produtores de energia elétrica.

As dificuldades apontadas lançam assim novos desafios ao sistema de energia elétrica, exigindo soluções viáveis. O estabelecimento de objetivos muito mais ambiciosos do que os atuais deve basear-se em estudos de avaliação de comportamento do sistema elétrico face a elevadas penetrações de fontes renováveis.

4. MODELO DE PLANEAMENTO ELÉTRICO

Neste capítulo é abordado o planeamento estratégico do sistema elétrico de Cabo Verde, partindo do modelo apresentado em Pereira et al. (2016). Este planeamento implicou a recolha de dados, adaptação do modelo ao caso de Cabo Verde e definição de estratégias e políticas energéticas a considerar na modelação. Deste modo, são apresentados os dados e pressupostos assumidos no modelo e que foram fundamentais para a simulação e a otimização dos cenários. Por fim, é apresentada, com base nos resultados obtidos, uma análise dos cenários futuros de geração de eletricidade para Cabo Verde.

4.1 Aplicação ao Caso de Cabo Verde

Como exposto no capítulo dois, Cabo Verde compõe-se de um conjunto de dez ilhas, das quais nove são habitadas. Portanto, por ser insular, implicava a implementação de nove modelos diferentes, (um para cada ilha), uma vez que cada ilha tem a sua complexidade e possui características próprias. Neste sentido, de modo a simplificar a problematização, o estudo restringiu-se à ilha de Santiago, por ser a mais populosa e onde está localizada a capital, a cidade da Praia.

Santiago é a maior ilha do arquipélago. Tem cerca de 991 km² de área e representa 24,6% do território nacional. A sua topografia é bastante acidentada, sendo a maior elevação da ilha o Pico da Antónia, localizado a 1.394 metros de altitude. Esta ilha dispõe de maior centro de geração e consumo de eletricidade, representando no ano 2012 cerca de 57% de toda a geração e consumo no país (Electra, 2012). A ilha de Santiago destaca-se não só pela sua dimensão, mas também por ser aquela que apresenta um maior consumo energético.



Figura 11- Mapa da ilha de Santiago

Fonte: <http://webcarta.net>, consultado em setembro de 2016

A dependência energética em Cabo Verde, como já referimos, encontra-se fortemente associada à produção de eletricidade advinda de fontes não renováveis. As metas estabelecidas pelo Governo a nível nacional apresentam-se, no entanto, em dissonância com esta realidade, uma vez que o objetivo se centra no aumento da integração das energias renováveis no sistema energético.

Tendo em consideração esse interesse, quatro cenários diferentes foram propostos e analisados para o sistema elétrico de Santiago:

- Cenário 1: é o *Business As Usual (BAU)*, ou seja, o cenário de referência, tendo como base o ano 2015.
- Cenário 2: denominado de cenário Renovável Alto, assume uma participação de cerca de 90% de energia renovável para a produção de eletricidade.
- Cenário 3: este cenário considera o fornecimento de eletricidade gerada a partir de um sistema 100% renovável.
- Cenário 4: é o cenário Diversificado e possui igualmente uma percentagem renovável equivalente a 100%, no entanto, com recursos mais diversificados.

De acordo com o estudo elaborado no âmbito do PERCV, a ilha de Santiago possui um excelente potencial renovável, desde solar, eólico, incluindo a biomassa para a produção de eletricidade (Gesto, 2011). De acordo com o mesmo estudo, Santiago apresenta ainda algum

potencial para a produção de energia hidroelétrica de baixa potência, visto que dispõe de áreas com capacidade de geração de escoamento anual médio elevado (superior a 100 mm) e maiores desníveis face ao nível da água do mar, relativamente às restantes ilhas (cfr. Tab.2). Contudo, a geração de escoamento encontra-se concentrada em períodos anuais muito reduzidos (cerca de três meses), sendo geralmente nos restantes meses em regra nula. Tendo em consideração que se trata de um potencial teórico que, como tal não garante a viabilidade técnico-económico do seu aproveitamento (Gesto, 2011), a tecnologia a partir de energia hidroelétrica não foi incluída no modelo. Deste modo, foram consideradas como tecnologias a incluir no modelo, a biomassa por queima de resíduos sólidos urbanos, a eólica e a solar fotovoltaica.

4.2 Recolha de Dados

Todo tipo de trabalho exige um processo de recolha de informação sobre o tema em análise. Este incluiu igualmente um levantamento de dados que, no nosso caso, se centrou principalmente no setor elétrico de Cabo Verde. A bibliografia específica sobre o tema é ainda pouca significativa. Assim, para além desta bibliografia, foram recolhidos e analisados alguns documentos teóricos que não se debruçam de forma direta sobre o tema em questão, mas apresentam informações suscetíveis de apoiar este trabalho.

As técnicas de recolha utilizadas foram a pesquisa com base no levantamento de dados bibliográficos, documentais e contactos diretos. Neste sentido, durante a pesquisa, levámos a cabo uma revisão de literatura realizada através de fontes primárias, secundárias e terciárias, incluindo relatórios das entidades que operam no setor elétrico, artigos publicados em revistas científicas, publicações governamentais, livros e *sites*. O objetivo era recolher informação sobre o setor energético de Cabo Verde a partir destes suportes bibliográficos, de modo a obter uma compreensão global da estrutura do sistema energético atual do país.

Os dados recolhidos incluem a potência de energia instalada e o potencial renovável estimado para o país, a disponibilidade dos recursos e os custos. A procura mensal de energia foi também estimada, com base nas previsões anuais num período de 20 anos.

O método de investigação utilizado é o descritivo. Estudou-se o impacto económico, social e ambiental da integração das energias renováveis no sistema energético de Cabo Verde, procurando ainda avaliar se é possível melhorar a segurança energética, reduzir a dependência das importações e o custo de eletricidade e, conseqüentemente, a vulnerabilidade

do país, de modo a garantir um futuro energético seguro e sustentável sem dependência de combustíveis fósseis.

4.3 Adaptação do Modelo de Planeamento Elétrico

Connolly et al. (2010) classificaram as ferramentas informáticas de energia de acordo com os diferentes critérios: tipo de cálculos permitidos pela ferramenta (simulação, otimização, análise de cenários, etc.); a área geográfica analisada (global, nacional, regional, local, comunidade); ou setores de energia incluídos (transportes, eletricidade, calor).

Com este trabalho pretende-se desenvolver um modelo de planeamento elétrico traduzido em linguagem computacional e aplicá-lo ao caso de Cabo Verde, especialmente à ilha de Santiago. De modo a atingir o propósito deste estudo, o sistema energético da ilha de Santiago teve de ser simulado e otimizado. Foram definidos diferentes cenários de modo a atender às necessidades energéticas ao longo dos anos, sendo que os impactos da implementação das energias renováveis na ilha também foram avaliados. Acredita-se que as conclusões alcançadas poderão ser valiosas e úteis para os agentes especializados na área, na medida em que poderá facilitar a implementação das FER no sistema energético das restantes ilhas.

De acordo com a classificação de Connolly et al. (2010), o modelo proposto é especificado como um problema de otimização numa perspetiva nacional/regional, uma vez que elabora um estudo sobre setor da energia elétrica de Cabo Verde, mais concretamente da ilha de Santiago. Neste sentido, o modelo proposto foi codificado em *GAMS (General Algebraic Modeling System)*, uma linguagem de programação que permite definir e solucionar a otimização de modelos de programação matemática através de *solvers* integrados. O modelo resulta num problema misto inteiro linear e o *solver CPLEX* foi selecionado para a obtenção dos resultados numéricos abaixo relatados, na secção “Resultados”.

Este modelo permite a apresentação de diferentes cenários para a ilha de Santiago, suportados sobretudo em energias renováveis, sendo estes avaliados não só do ponto de vista económico, como social e ambiental. O modelo original de Pereira et al. (2016) teve de ser adaptado, uma vez que se afastava inicialmente do sistema energético da ilha. O modelo original incluía as seguintes fontes de energia para Portugal: carvão, gás, eólica, hídrica e SRP (produção em regime especial). No novo modelo formulado foram incluídas apenas três fontes de energia a considerar para adicionar ao sistema elétrico no período do planeamento (a

biomassa por Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), a eólica e a solar) de acordo com o potencial da ilha.

A adaptação do modelo implicava, por isso, algumas alterações no código original, ou seja, a redefinição dos conjuntos, parâmetros, escalares, variáveis e equações, assim como a recolha de dados adicionais que permitiram a caracterização das novas opções de energia. O processo de modelação teve em consideração os seguintes termos:

- Parâmetros: correspondentes aos dados fixos necessários para resolver o problema;
- Variáveis de decisão: incógnitas a serem determinadas pela solução do modelo;
- Equações: correspondentes a funções objetivos e restrições;
- Função objetivo: o que se pretende otimizar;
- Restrições: as limitações do problema.

Os parâmetros utilizados no problema de otimização incluem a procura mensal prevista para os próximos 20 anos, a disponibilidade das fontes de energia, o custo das licenças de emissões de CO₂, o tempo de vida, o custo de combustível, a potência instalada, a ponta máxima prevista para os próximos 20 anos, o custo de investimento e os custos fixos e variáveis de O&M. O potencial máximo de cada fonte de energia existente na ilha foi incluído também nos parâmetros. Resta-nos agora apresentar os pressupostos considerados no modelo, seguindo-se uma descrição dos resultados obtidos pela aplicação do modelo.

A partir da pesquisa não foi possível obter informação relativa a todos os parâmetros necessários à modelação, mas teve-se o cuidado de recolher informações pertinentes que se enquadrassem no contexto de Cabo Verde. Assim sendo, devido a alguma falta de informação, houve a necessidade de estimar valores partindo das informações obtidas na literatura e bases de dados internacionais.

Conforme foi referido anteriormente, a formulação do modelo proposto tem em consideração tanto as questões económicas como as ambientais, com o objetivo principal de minimizar o custo total de produção, avaliando os impactos ambientais de cada uma das soluções encontradas de acordo com as emissões CO₂ libertadas de todas as unidades de energia durante todo o período de planeamento.

A função objetivo é obtida pelo custo total do sistema e é dada pela soma dos custos fixos e variáveis. Os custos fixos estão relacionados com o custo de investimento das novas unidades de energia e todos os custos fixos de O&M. Por seu turno, os custos variáveis, abrangem o custo de combustível, os custos de direitos de emissão de CO₂ e os custos variáveis de O&M.

Cada tecnologia utilizada para a produção de eletricidade apresenta características específicas e custos distintos, quer na fase de construção, quer na fase de O&M. Nas tabelas 4 e 5 estão descritos os dados incluídos na função objetivo custo, ou seja, o tempo de vida, o custo de combustível, o custo de investimento e os custos fixos e variáveis de O&M.

Tabela 4 - Custo das unidades de energia existentes

Energia	Custo de combustível (€/MWh) ¹	Custo variável O&M (€/MWh) ²
Diesel	123	3
Eólico	0	2
Solar	0	0

¹Elaboração própria (Electra, 2012)

²(Schröder et al., 2013), (Pereira, Ferreira & Vaz, 2011)

Tabela 5 - Custo de novas unidades de energia

Energia	Tempo de Vida (anos) ¹	Custo de combustível (€/MWh) ²	Custo de Investimento (€/MW) ¹	Custo fixo O&M (€/MW/ano) ¹	Custo variável O&M (€/MWh) ⁵
Biomassa	25	7	4 500 000	135 000	0,004
Eólica	20	0	2 000 000	31 000	2
Solar	30	0	3 250 000	20 000	0

¹(Gesto, 2011)

²(Schröder et al., 2013)

⁵(Carneiro, 2011), (Pereira, Ferreira & Vaz, 2011)

O custo de combustível refere-se aos preços estabelecidos para cada tipo de fonte primária usada nas centrais, tendo em conta a sua densidade, eficiência, poder calorífico e produção de energia elétrica. O custo de investimento, o custo fixo de O&M e o tempo de vida de cada unidade de energia baseiam-se nos dados dos projetos previstos para Cabo Verde referido no PERCV (Gesto, 2011). Os custos variáveis foram obtidos a partir dos dados publicados em artigos científicos.

As emissões de CO₂ baseiam-se no fator da emissão específica de cada uma das técnicas de geração de energia e no preço do mercado das licenças de emissão de CO₂. Embora Carneiro (2010: p. 33) afirme que “*toda a cadeia de aproveitamento de biomassa (recolha, transporte, queima), está sempre associada a libertação de GEE*”, no modelo, foi

considerada nula a emissão de gases advinda da tecnologia de geração de eletricidade a partir deste recurso. Segundo Pirotta, Ferreira e Bernardo (2013), esta técnica pode levar a uma redução líquida de emissões de gases de efeito de estufa, devido à redução das emissões de metano dos aterros, bem como à substituição de combustíveis fósseis, resultante da energia recuperada. Essa leitura é reforçada por Carneiro (2010: p. 142) quando refere que *"a utilização da biomassa para fins energéticos é favorável à redução das emissões de gases responsáveis pelo efeito de estufa (dióxido de carbono e metano), verificando-se um ciclo fechado do carbono, uma vez que o dióxido carbono é absorvido no processo de fotossíntese aquando da regeneração da biomassa. Além disso, a biomassa contém, em geral, menos agentes poluentes, como o enxofre e os metais pesados, do que os combustíveis fósseis mais comuns"*.

Na tabela 6 está representado o valor das emissões de CO₂ assumido para a central termoelétrica. Para as restantes tecnologias renováveis foi considerado nulo o fator das emissões.

Tabela 6 - Emissão de CO₂ (t/MWh)

Energia	Emissão de CO₂
<i>Diesel</i>	0,24
Biomassa	0
Eólica (existente e nova)	0
Solar (existente e nova)	0

O modelo é desenvolvido partindo de uma situação real com possibilidades de incluir novas unidades de energia. Portanto, o conhecimento pormenorizado do parque electroprodutor é fundamental na análise de cenários de energia renováveis e da viabilidade de futuros projetos renováveis, quer ao nível de produção de energia, quer ao nível de expansão e gestão da rede elétrica.

O sistema energético na ilha de Santiago é caracterizado por uma elevada concentração em combustíveis fósseis. A geração térmica é assim predominante, representando cerca de 69,96 MW (83% do total) da potência instalada em 2015. Por outro lado, as FER totalizam uma potência instalada de 14,35 MW (17%), conforme ilustra a tabela 7.

Tabela 7 - Potência das unidades de energia instalada em Santiago (MW)

Energia	Potência instalada
<i>Diesel</i>	69.96
Eólica	9.35
Solar	5

Fonte: Informação obtida junto de especialistas locais

O conhecimento das características do recurso constitui a base para a realização dos estudos de viabilidade económica de qualquer projeto que utilize FER. Dagdougui et al. (2010) afirmam que para obter soluções de produção de energia viáveis, quer do ponto de vista de disponibilidade de energia, quer do ponto de vista económico, é necessário conhecer as fontes endógenas de energia apropriadas para fornecer as necessidades de abastecimento, uma vez que cada recurso é diferente do ponto de vista da rede. Alguns são mais fáceis de integrar do que os outros, além do que o sistema pode não ser tecnicamente viável em todos os locais. Também Connolly et al. (2010) referem que a identificação de FER e a avaliação do seu potencial tem grande interesse no processo de planeamento energético de hoje.

Neste sentido, para uma boa caracterização dos potenciais renováveis na ilha de Santiago foi recolhida informação relevante que depois de coligida, tratada e validada, permitiu identificar o potencial de cada fonte existente na ilha. O potencial máximo da energia eólica e solar foi obtido a partir dos dados disponibilizados pela IRENA (2014). Com base nos valores do potencial de produção renovável e da área total (Km²) da África Ocidental, foram estimados o potencial de produção das energias para Cabo Verde, nomeadamente a ilha de Santiago. Dada a escassez de dados para o caso de Cabo Verde foi assim assumido que o potencial de produção de energia solar e eólica seria proporcional à superfície da ilha de Santiago. O valor do potencial médio (MW) foi obtido através da divisão do potencial de produção estimado pelo produto entre a disponibilidade média dos recursos e o total de horas por ano. A potência máxima da biomassa foi estimada da mesma forma, no entanto, com base nos dados obtidos em Scarlat, Motola, Dallemand, Monforti-Ferrario e Mofor (2015).

Na tabela 8, apresenta-se o potencial máximo estimado de cada fonte de energia existente na ilha de Santiago tal como foi implementado no modelo.

Tabela 8 - Potencial das FER na ilha de Santiago (MW)

Energia	Potencial
Biomassa	6,7
Eólica	4 152
Solar	12 463

Comparando os valores obtidos na tabela 8 com o potencial estimado para Cabo Verde no PERCV (2.600 MW), estes são bastante superiores, embora não se esperem que condicionem os resultados do modelo pelo menos no que concerne a eólica e a solar (cfr: Tab. 23). A Tabela 9 descreve a procura mensal do sistema elétrico em 2015. Para os próximos anos foi assumido um crescimento de 6% (MTIDE, 2015b).

Tabela 9 - Procura mensal de energia elétrica em 2015 (MWh)

Mês	Procura
Jan	16 302
Fev	14 537
Mar	16 614
Abr	16 642
Mai	17 935
Jun	17 879
Jul	19 527
Ago	19 536
Set	18 694
Out	19 264
Nov	18 264
Dez	17 704

Fonte: Informação obtida junto de especialistas locais

O conhecimento das características do recurso, como foi anteriormente referido, constitui um fator fundamental para a viabilidade económica do projeto baseado em energia renováveis. Na verdade, a viabilidade da maioria das tecnologias com base em recursos renováveis varia de acordo com os locais escolhidos para a sua implementação e do potencial desses recursos que, por sua vez, depende sobretudo das condições climáticas existente nestes mesmos locais. Neste sentido, foi elaborado, em Cabo Verde, o Plano Estratégico Sectorial

das Energias Renováveis (PESER) com o objetivo de identificar e reservar determinadas áreas, propondo o respetivo zonamento ao nível da gestão territorial que, de acordo com a estratégia de uso e ocupação do solo definida pelo Governo de Cabo Verde, poderá servir de catalisador para o desenvolvimento de projetos na área das energias renováveis (Gesto, 2011).

Através deste instrumento de política sectorial, foram definidas as ZDER, isto é, as zonas vocacionadas para acolher diferentes tipos de projetos em matéria de energias renováveis. A definição das ZDER e das respetivas potências estimadas (MW), no âmbito das tecnologias mencionadas, para as nove ilhas do arquipélago obedeceu a um conjunto de requisitos técnicos, legais, logísticos e ambientais, que variam de acordo com a tecnologia e a ilha, sendo a primeira premissa desta análise a existência de recurso (Gesto, 2011). A figura seguinte apresenta o mapeamento da velocidade mensal do vento (m/s) e da radiação solar (KWh/m²) na ilha de Santiago.

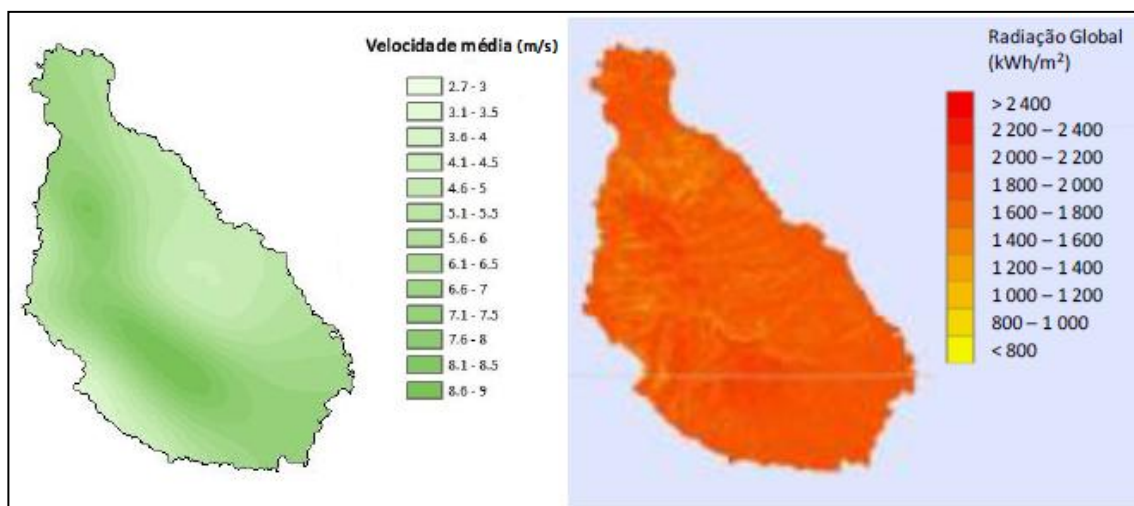


Figura 12 - Velocidade média do vento e a radiação global da ilha de Santiago

Fonte: Gesto (2011)

Não obstante, teve-se o cuidado de recolher apenas dados dos locais identificados no PERCV (2011) e em áreas declaradas pelo Governo, em 2012, como áreas apropriadas para o desenvolvimento de projetos de exploração de energias renováveis.

A partir das coordenadas das zonas identificadas, (obtidas através do *google maps*), foram recolhidas as informações relevantes, nomeadamente a radiação solar e a velocidade do vento, em cada zona.

A produção mensal média de eletricidade em centrais fotovoltaicas (kWh) foi obtida através da *Photovoltaic Geographical Information System* (PVGIS), um *site* que permite

aceder a dados de radiação e temperatura solares e ferramentas de avaliação de desempenho da energia fotovoltaica para qualquer local da Europa e África, bem como uma grande parte da Ásia (Huld, Müller & Gambardell, 2012; PVGIS, 2016).

Por outro lado, a velocidade mensal do vento de cada uma das zonas identificadas foi obtida a partir do *site* da *NASA Langley Research Center Atmospheric Science Data Center Surface meteorological and Solar Energy (SSE)* (NASA, 2016). No entanto, ao contrário da energia solar, para obter a disponibilidade mensal da energia eólica foi necessário converter a velocidade do vento em potência. Para isso, recorreu-se ao gráfico da curva de potência da turbina marca Vestas, modelo V52, a mesma já instalada nalgumas ilhas do arquipélago (figura 13). A partir dos valores da potência foi obtida a disponibilidade mensal da energia eólica. No que diz respeito à disponibilidade anual da biomassa na ilha, foi baseada nos dados disponíveis no PERCV (2011).

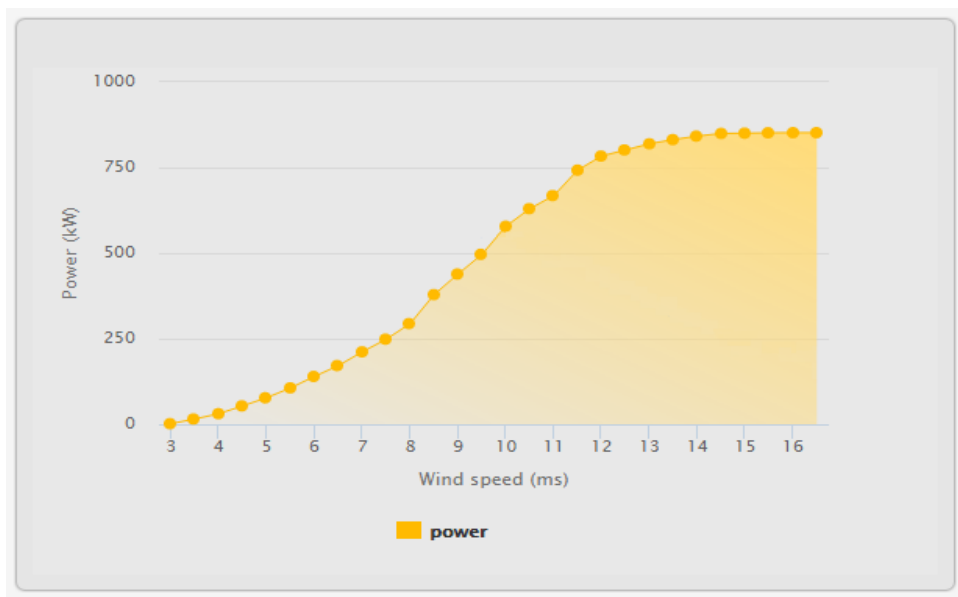


Figura 13 - Curva de potência da turbina eólica Vestas V52

Fonte: <https://en.wind-turbine-models.com>

Apesar das energias renováveis não serem controláveis, a disponibilidade do seu recurso é previsível, como foi assumido nos cálculos anteriores. Na verdade, a previsão das FER tem implicações óbvias na operacionalização do sistema de energia elétrica. A tabela 10 resume a disponibilidade mensal das FER na ilha de Santiago tal como foram implementadas no modelo.

Tabela 10 - Fator disponibilidade mensal das FER na ilha de Santiago

Energia/Mês	Biomassa	Eólica	Solar
Jan	0.7	0.430	0.137
Fev	0.7	0.314	0.183
Mar	0.7	0.257	0.221
Abr	0.7	0.267	0.222
Mai	0.7	0.261	0.230
Jun	0.7	0.203	0.213
Jul	0.7	0.069	0.194
Ago	0.7	0.056	0.180
Set	0.7	0.098	0.180
Out	0.7	0.180	0.182
Nov	0.7	0.229	0.164
Dez	0.7	0.301	0.153

A partir da análise da tabela pode observar-se a variação das energias solar e eólica em diferentes períodos do ano, que tem essencialmente a ver com as condições climáticas da ilha. Esta variabilidade é mais evidente na energia eólica, visto que os valores variam entre 0,06 e 0,4, ao contrário da biomassa que se assume estável, uma vez que não depende das condições atmosféricas.

A variabilidade das FER constitui, sem dúvida, a principal dificuldade da integração destas na rede, comprometendo, assim, a resposta à procura de energia elétrica. Neste sentido, para que seja possível garantir a qualidade e continuidade de serviço, é imprescindível que o sistema elétrico disponha de capacidade de produção de reserva, de modo a responder à indisponibilidade das FER, eventuais avarias, ou incidentes inesperados. Por se tratar de um país insular que, conseqüentemente, representa um sistema fechado, sendo este totalmente sensível a fatores aleatórios (variações de carga ou indisponibilidade de geração), no modelo, foi considerada uma margem de reserva de 10% (*Union for the Coordination of Transmission of Electricity* [UCTE], 2009). Por uma questão de simplicidade, não foi tida em consideração a possibilidade de armazenamento de curto prazo. Uma vez que a análise é feita em blocos mensais, este pressuposto não deverá ter conseqüências significativas no estudo, mas, num futuro modelo com blocos horários a questão do armazenamento distribuído deverá ser equacionada.

Com base em todos os dados apresentados, procedeu-se à simulação e otimização dos diferentes cenários, cujos resultados serão abordados na secção seguinte.

4.4 Resultados

Esta secção descreve os resultados obtidos através da aplicação do modelo para os quatro cenários apresentados anteriormente.

O primeiro cenário é assumido como sendo o cenário de referência, tendo como base o ano 2015. Nesse ano a contribuição total das fontes renováveis para a geração de eletricidade foi cerca de 23%. Na tabela 11 estão representados os resultados obtidos através da otimização de custo, assim como das emissões de CO₂ para um período de 20 anos de planeamento.

Tabela 11 - Solução otimizado para o cenário BAU

Custo	60 €/MWh
Emissão	0,083 ton/ MWh

De modo a poder responder à crescente procura de energia elétrica, ao longo dos próximos anos, será necessário aumentar a potência do sistema energético, i. e., instalar novas unidades de energia. Neste sentido, a solução de mínimo custo aponta para o acréscimo das unidades de energia (2017-2036) descritas na tabela 12.

Tabela 12 - Potência instalada de novas unidades de energia para o cenário BAU (MW)

Técnica/Ano	Biomassa	Eólica	Solar
2017	6,7	50,2	
2018		4,6	
2019		4,9	
2020		5,2	
2021		5,5	
2022		5,9	
2023		6,2	
2024		6,6	
2025		6,98	
2026		7,4	
2027		7,8	
2028		8,3	
2029		8,8	
2030		9,3	
2031		9,9	
2032		10,5	
2033		11,1	
2034		11,8	
2035		40,4	8,38
2036		1,1	27,78

A produção de eletricidade a partir das diferentes tecnologias foi obtida tendo em conta um período de 20 anos com periodicidade mensal, de modo a permitir uma análise de sazonalidade. No entanto, para simplificar a análise, a descrição incidirá apenas sobre o último ano de planeamento. Assim, a tabela 13 descreve a produção de eletricidade mensal prevista para cada tecnologia em 2036.

Tabela 13 - Produção de eletricidade para o cenário BAU no ano 2036 (MWh)

Energias/Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Diesel			1897	1978	5445	17256	45100	47702	38503	24937	15662	
Biomassa	3489	3152	3489	3377	3489	3377	3489	3489	3377	3489	3377	3489
Eólica (e)	2989	1974	1786	1799	1813	1364	478	391	658	1280	1539	2096
Eólica (n)	71200	47016	42547	42850	43187	32474	11391	9329	15679	30477	36657	49921
Solar (e)	511	614	821	798	855	767	720	668	648	679	590	568
Solar (n)	3694	4435	5942	5772	6183	5543	5207	4832	4688	4905	4266	4110

(e) centrais já existentes

(n) novas centrais

No cenário Renovável Alto a contribuição de energias renováveis para a produção de eletricidade foi aumentada para 90%.

A tabela 14 apresenta os resultados obtidos através da otimização de custo, assim como das emissões de CO₂ para um período de 20 anos de planeamento.

Tabela 14 - Solução otimizado para o cenário Renovável Alto

Custo	71 €/MWh
Emissão	0,024 ton/ MWh

Para o cenário Renovável Alto, a solução de mínimo custo aponta para o acréscimo das unidades de energia (2017-2036) descritas na tabela 15.

Tabela 15 - Potência instalada de novas unidades de energia para o cenário Renovável Alto (MW)

Técnica/Ano	Biomassa	Eólica	Solar
2017	6,7	25,6	70,35
2018		2,4	5,84
2019		2,5	6,22
2020		2,6	6,65
2021		2,8	7,05
2022		2,9	7,48
2023		3,1	7,93
2024		3,3	8,4
2025		3,5	8,9
2026		3,7	9,44
2027		3,9	10,01
2028		4,2	10,6
2029		4,4	11,24
2030		4,7	11,92
2031		5	12,63
2032		5,2	13,39
2033		5,6	14,19
2034		5,9	15,04
2035		6,3	15,95
2036		6,6	16,9

A tabela 16 descreve a produção de eletricidade mensal prevista para cada tecnologia em 2036.

Tabela 16 - Produção de eletricidade para o cenário Renovável Alto no ano 2036 (MWh)

Energias/Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<i>Diesel</i>							17476	21397	16518	9431	7582	
Biomassa	3489	3152	3489	3377	3489	3377	3489	3489	3377	3489	3377	3489
Eólica (e)	2989	1974	1786	1799	1813	1364	478	391	658	1280	1539	2096
Eólica (n)	33269	21969	19881	20022	20180	15174	5323	4359	7326	14241	17129	23327
Solar (e)	511	614	821	798	855	767	720	668	648	679	590	568
Solar (n)	27598	33135	44391	43130	46191	41419	38898	36106	35026	36647	31874	30704

(e) centrais já existente

(n) novas centrais

Para o cenário 3, a contribuição de energias renováveis para a produção de eletricidade foi definida como de 100%. A tabela 17 representa os resultados obtidos através da otimização de custo, assim como das emissões de CO₂ para um período de 20 anos de planejamento.

Tabela 17 - Solução otimizado para o cenário 100% Renovável

Custo	84 M€/MWh
Emissão	0 ton//MWh

Neste cenário, a solução de mínimo custo aponta para o acréscimo das unidades de energia (2017-2036) descritas na tabela 18.

Tabela 18 - Potência instalada de novas unidades de energia para o cenário 100% Renovável (MW)

Técnica/Ano	Biomassa	Eólica	Solar
2017	6,7		130,18
2018			9,85
2019			10,44
2020			11,07
2021			11,74
2022		0,33	12,34
2023		0,7	12,96
2024		0,8	13,74
2025		0,8	14,56
2026		0,9	15,44
2027		0,9	16,36
2028		1	17,34
2029		1	18,38
2030		1,1	19,49
2031		1,1	20,66
2032		1,2	21,9
2033		1,3	23,21
2034		1,4	24,6
2035		1,4	26,08
2036		1,5	27,64

A tabela 19 descreve a produção de eletricidade mensal prevista para cada tecnologia em 2036.

Tabela 19 - Produção de eletricidade para o cenário 100% Renovável no ano 2036 (MWh)

Energias/Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<i>Diesel</i>												
Biomassa	3489	3152	3489	3377	3489	3377	3489	3489	3377	3489	3377	3489
Eólica (e)	2989	1974	1786	1799	1813	1364	478	391	658	1280	1539	2096
Eólica (n)	4942	3264	2954	2974	2998	2254	791	647	1089	2116	2544	3466
Solar (e)	511	614	821	798	855	767	720	668	648	679	590	568
Solar (n)	46789	56178	75260	73123	78313	70222	65948	61216	59383	62131	54041	52056

(e) centrais já existente

(n) novas centrais

No quarto e último cenário, a participação das energias renováveis no sistema de geração de eletricidade é igualmente de 100%, sendo no entanto, mais diversificada e vinculada à restrição seguinte: a produção total de eletricidade a partir da energia eólica a dividir pela procura tem que ser maior do que 20%.

A tabela 20 representa os resultados obtidos através da otimização de custo, assim como das emissões de CO₂ para um período de 20 anos de planeamento.

Tabela 20 - Solução otimizado para o cenário Diversificado

Custo	111 €/MWh
Emissão	0 ton/MWh

A solução de mínimo custo aponta para o acréscimo das unidades de energia no cenário Diversificado (2017-2036) descritas na tabela 21.

Tabela 21 - Potência instalada de novas unidades de energia para o cenário Diversificado (MW)

Técnica/Ano	Biomassa	Eólica	Solar
2017	6,7	89,2	102,2
2018		5,9	8
2019		6,3	8,5
2020		6,6	9
2021		7	9,53
2022		7,5	10,1
2023		7,9	10,7
2024		8,4	11,4
2025		8,9	12
2026		9,4	12,8
2027		10	13,5
2028		10,6	14,3
2029		11,2	15,2
2030		11,9	16,1
2031		12,6	17,1
2032		13,4	18,1
2033		14,2	19,2
2034		15	20,3
2035		15,9	21,54
2036		16,9	22,84

A tabela 22 descreve a produção de eletricidade mensal prevista para cada tecnologia em 2036.

Tabela 22 - Produção de eletricidade para o cenário Diversificado no ano 2036 (MWh)

Energias/Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Diesel												
Biomassa	3489	3152	3489	3377	3489	3377	3489	3489	3377	3489	3377	3489
Eólica (e)	2989	1974	1786	1799	1813	1364	478	391	658	1280	1539	2096
Eólica (n)	92316	60960	55165	55558	55995	42105	14768	12096	20328	39515	47528	64727
Solar (e)	511	614	821	798	855	767	720	668	648	679	590	568
Solar (n)	38039	45672	61185	59448	63667	57090	53615	49767	48278	50512	43934	42321

(e) centrais já existente

(n) novas centrais

4.5 Análise dos resultados

Conforme ficou descrito na secção anterior, no âmbito deste trabalho foram simulados quatro cenários distintos, cada qual associado a contribuição renovável diferente para a produção de eletricidade. Foi adotado um modelo de planeamento elétrico, de modo a incluir diferentes tipos de tecnologias renováveis, de acordo com o potencial da ilha. A nossa análise visa obter informação que comprove a importância da integração das energias renováveis na produção de eletricidade, bem como os benefícios associados a esta tecnologia, nomeadamente a redução da dependência energética, a diminuição no consumo dos combustíveis fósseis e da emissão de CO₂.

Analisando os resultados obtidos conclui-se que da aplicação de qualquer um dos cenários renováveis propostos resultará um custo de investimento elevado para Cabo Verde, ao longo dos próximos 20 anos. Observando a figura 14 é possível ver a tendência crescente do custo total, suscitada sobretudo pelo aumento da potência instalada das diferentes tecnologias renováveis nos quatro cenários.

Estes valores de custo incluem o custo de novos investimentos (€/MW), o tempo de vida (anos), o custo fixo e variável de O&M (€/MWh) e o custo do combustível para cada tipo de unidade de energia (€/MWh), e o custo de licença de emissão de CO₂ (€/ton), assumindo uma taxa de desconto de 5%.

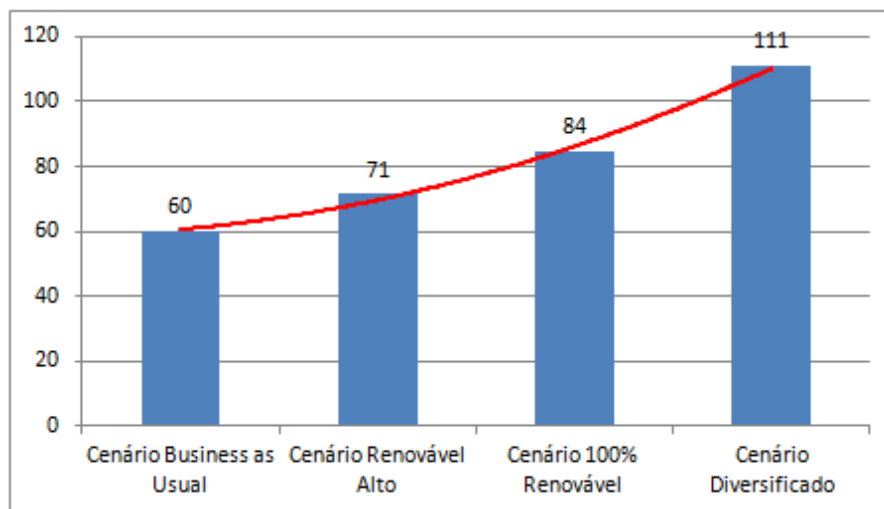


Figura 14 - Evolução de custo para diferentes cenários

Ao invés do custo, as emissões de CO₂ apresentam uma linha de tendência decrescente, conforme ilustra a figura 15. O valor das emissões corresponde à soma do total das emissões de CO₂ libertado de todas as unidades de energia durante o período de planeamento.

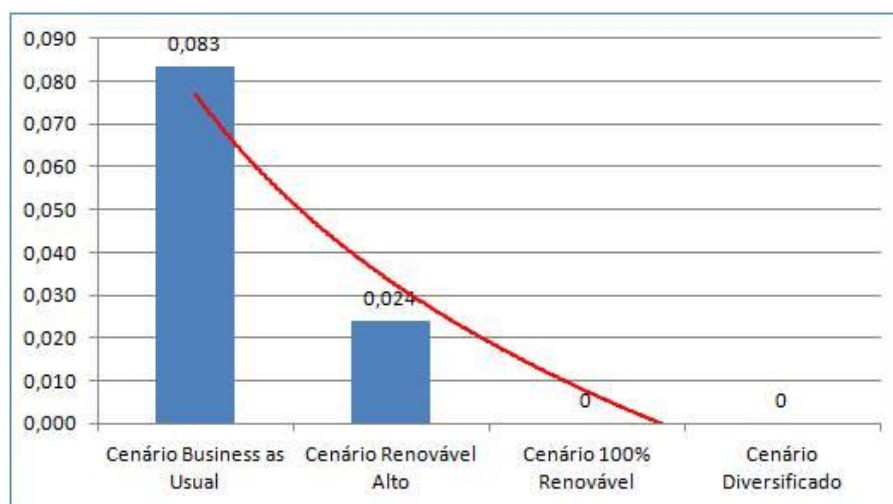


Figura 15 - Evolução das emissões de CO₂ para os diferentes cenários (ton/MWh)

Os valores de custo apresentam um grande aumento nos cenários com níveis renováveis elevados, devido à necessidade de instalar novas centrais. De modo geral podemos verificar uma tendência para que quanto mais renovável for o sistema, mais caro será e menos poluentes emitirá. Por outro lado, quando maior for o investimento, maior serão os benefícios sociais esperados. Tais benefícios traduzem-se em diferentes fatores com especial destaque para o maior número de empregos, devido à construção de todos os empreendimentos de energias renováveis. Adicionalmente, esses investimentos suscitam necessidades de manutenção e operação permanente, o que permite criar mais postos de trabalho (Gesto, 2011).

O custo constitui, sem dúvida, uma das principais limitações da integração de unidades de energia com base em fontes renováveis, que podem, no entanto, vir a ser compensadas devido ao tempo de vida de longo prazo e dos benefícios associados a estas tecnologias. Essa ideia é reforçada pela Cabeólica (2014) quando refere que apesar de o custo inicial de investimento em FER ser elevado, tais energias, particularmente a eólica, fornecem eletricidade a preços acessíveis, uma vez que possuem custos variáveis insignificantes. Por outro lado, com o avanço da tecnologia, esta técnica torna-se cada vez mais eficiente.

Uma análise da curva de Pareto na figura 16 permite concluir que a redução das emissões de CO₂ está inversamente relacionada ao custo do sistema de produção de eletricidade.

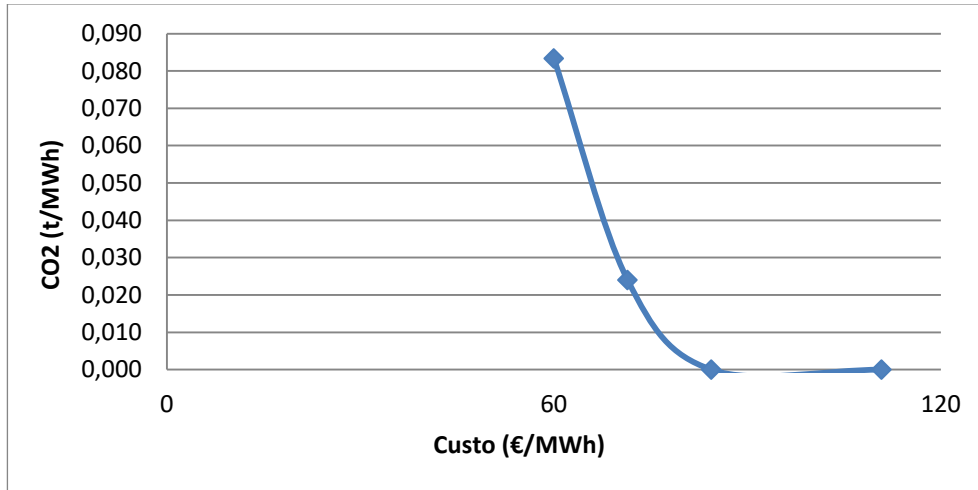


Figura 16 - Soluções através da Curva de Pareto

É natural que à medida que a população cresce, aumente a procura energética e, conseqüentemente, o consumo desta. No entanto, para responder a essa crescente procura é necessário aumentar a potência instalada, o que implica a instalação de novas unidades de energia. A tabela 23 apresenta a evolução da potência nova acumulada para os quatro cenários, ao longo dos 20 anos de planeamento.

Tabela 23 - Evolução da potência nova instalada por cenário ao longo dos anos (MW)

Cenários/Ano	Cenário Business	Cenário	Cenário 100%	Cenário
	As Usual	Renovável Alto	Renovável	Diversificado
2017	56,9	102,7	136,9	198,1
2018	61,5	110,9	146,7	212
2019	66,4	119,6	157,2	226,8
2020	71,7	128,8	168,2	242,4
2021	77,2	138,7	180	259
2022	83,1	149,1	192,6	276,5
2023	89,3	160,1	206,3	295,2
2024	95,9	171,8	220,8	314,9
2025	102,8	184,2	236,2	335,8
2026	110,2	197,3	252,5	358
2027	118,1	211,3	269,8	381,5
2028	126,4	226	288,1	406,4
2029	135,2	241,7	307,5	432,8
2030	144,5	258,2	328	460,8
2031	154,4	275,8	349,8	490,5
2032	164,9	294,5	373	521,9
2033	176,1	314,2	397,5	555,3
2034	187,9	335,2	423,4	590,6
2035	236,7	357,4	451	628,1
2036	265,6	380,9	480,1	667,8

A potência renovável instalada regista um aumento significativo entre os quatro cenários. Ou seja, quanto maior for a potência renovável instalada, maior será a produção de energia elétrica a partir de FER. Por outro lado, a contribuição das fontes não renováveis na geração de eletricidade diminui. A figura 17 apresenta a produção de eletricidade por fontes de energia, para os quatro cenários, prevista para o último ano de planeamento.

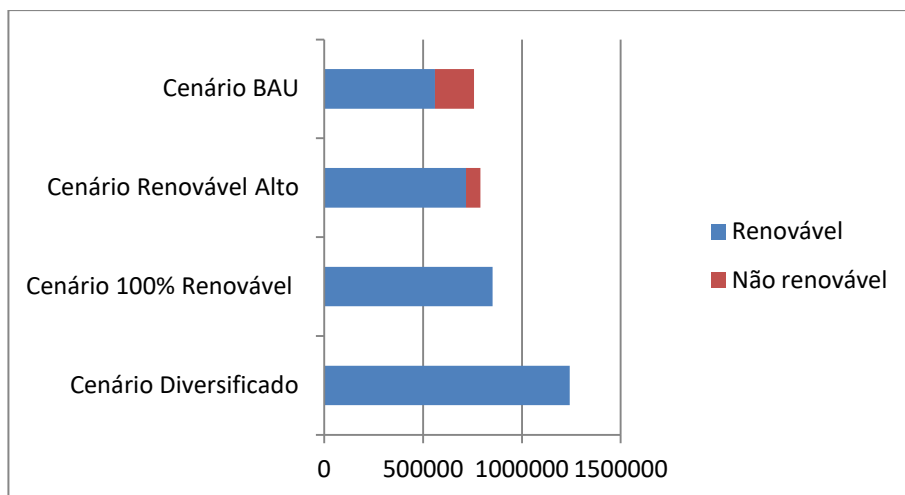


Figura 17 - Produção da eletricidade por fontes de energia para os diferentes cenários em 2036 (MWh)

Em relação à distribuição das fontes de energia para a produção de eletricidade, os valores variam de acordo com os cenários considerados. No cenário *BAU*, o sistema baseia-se tanto nas fontes renováveis como nas não renováveis para a geração de energia elétrica, sendo a percentagem mais elevada a da eólica com 60% da total produzida, o equivalente a 450.895 MWh, em 2036. Por outro lado, a *diesel* e a solar representam cerca de 26% e 9%, o equivalente a 198.479 MWh e 67.816 MWh, respetivamente. A fonte de energia que menos contribui para a produção é a biomassa, com apenas 5% do total da energia produzida, o que corresponde a 41.084 MWh, representando-se assim, a produção máxima prevista para o total da potência considerada no modelo (Figura 18).

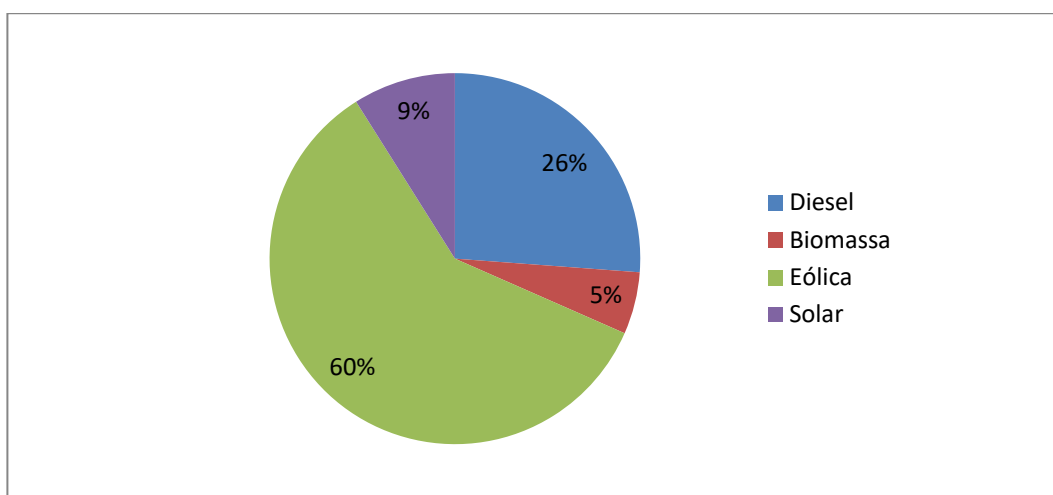


Figura 18 - Distribuição das FER na produção para o cenário BAU em 2036

Ao contrário do cenário *BAU*, no cenário Renovável Alto a fonte de energia que mais contribui para a produção de eletricidade é a solar, com uma percentagem equivalente a 58% (453.359 MWh). A participação da energia eólica, assim como do *diesel*, diminui, descendo de 60% e 26% para 28% e 9%, respetivamente.

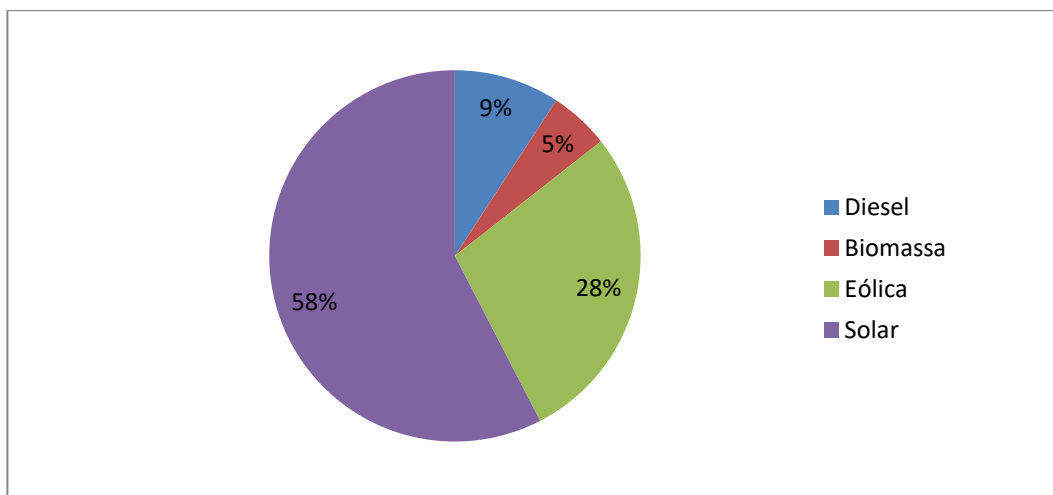


Figura 19 - Distribuição das FER na produção para o cenário Renovável Alto em 2036

No cenário 100% Renovável, com uma produção totalmente renovável, a fonte de energia que mais contribui para a geração de eletricidade é também a solar com uma percentagem equivalente a 89%, o que corresponde a 762.901 MWh. A participação da energia eólica e da biomassa atinge apenas 5% e 6%, o equivalente a 41.084 MWh e 48.206 MWh respetivamente.

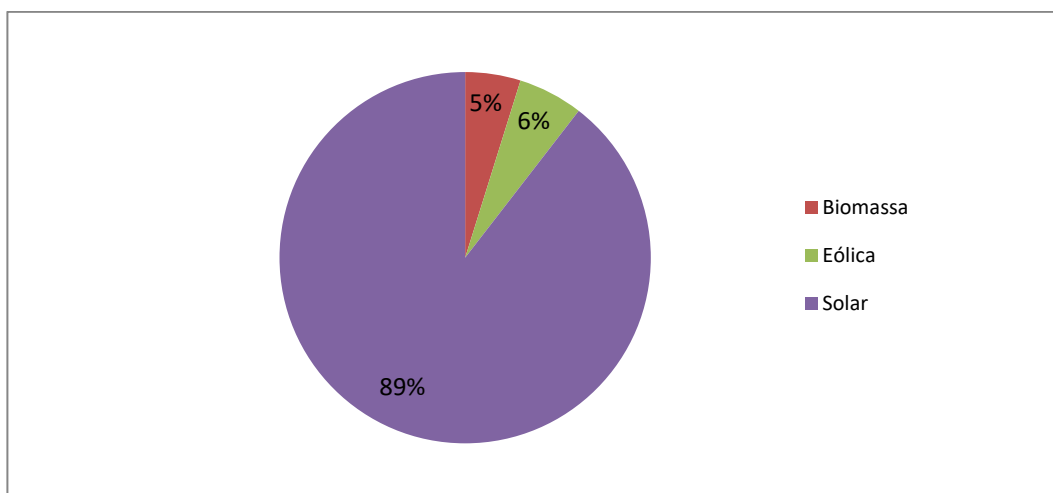


Figura 20 - Distribuição das FER na produção para o cenário 100% Renovável em 2036

Tendo em consideração que o cenário 100% Renovável se baseia essencialmente em energia solar para a geração de eletricidade, foi imposta uma restrição de modo a obter uma produção diversificada. Assim, no cenário Diversificado, as percentagens das fontes renováveis para a geração de eletricidade passam a representar 47% e 50% para as energias eólica e solar, o correspondente a 579.229 MWh e 621.766 MWh respetivamente. Por fim, a biomassa, atinge uma quota de 3% (41.084 MWh) do valor total, conforme fica demonstrado na figura 21.

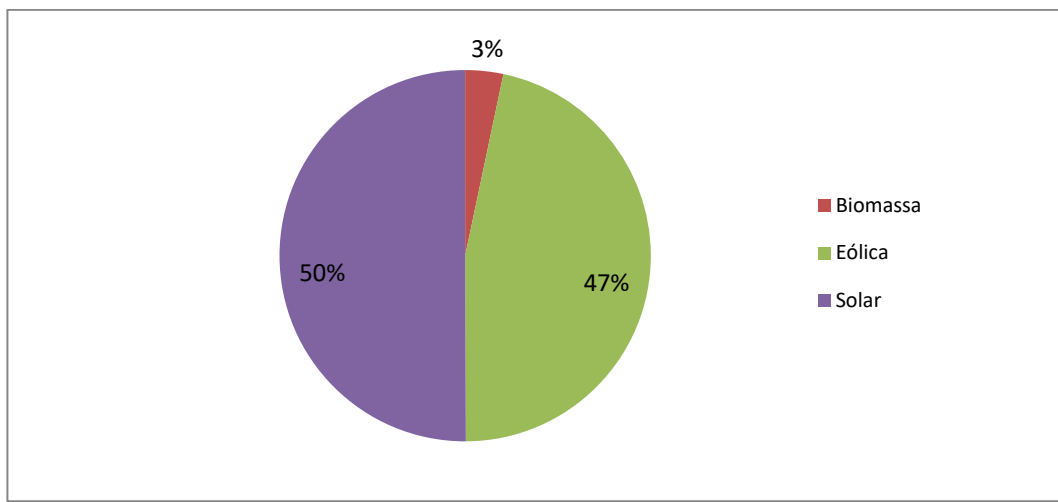


Figura 21 - Distribuição das FER na produção para o cenário Diversificado em 2036

Ao analisar a produção de eletricidade por mês e por tecnologia, sobressai claramente a sazonalidade na produção entre os cenários, sobretudo devido a fraca potência renovável nalguns meses do ano. A figura 22 compara a procura e a produção mensal por tecnologia para o último ano de planeamento (2036), de acordo com o cenário BAU. Uma vez que não há grandes variações climáticas em Cabo Verde, a procura de eletricidade é relativamente estável ao longo do ano. No entanto, a figura ilustra variabilidade de algumas fontes de energia, em consequência de sazonalidade. É evidente a baixa produção de eletricidade a partir da energia eólica, nos meses de julho, agosto e setembro, devido ao seu fraco potencial nesses períodos. Por outro lado, a produção a partir da energia solar e da biomassa é praticamente estável, apresentando apenas uma pequena variação. É possível observar ainda que este cenário apresenta valores de produção de energia elétrica a partir das fontes renováveis, inferiores ao do consumo na maior parte dos meses. O sistema recorre assim ao *diesel* para a produção de eletricidade nos períodos de baixa disponibilidade das fontes

renováveis. Nos meses de Janeiro e Fevereiro verifica-se excesso de produção sobretudo pela elevada disponibilidade do recurso eólico.

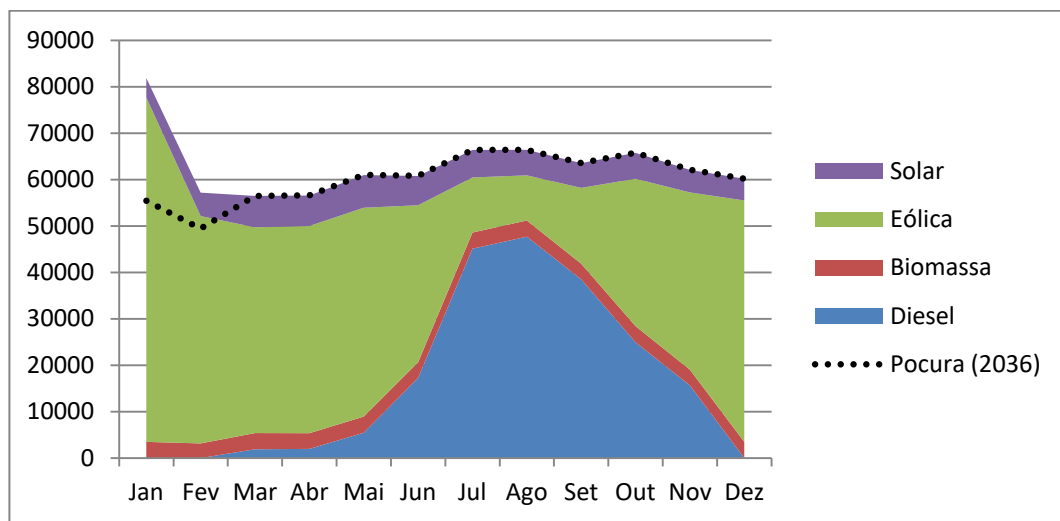


Figura 22 - Comparação da procura e produção de eletricidade previstas para o ano 2036
cenário BAU

O cenário 100% Renovável, sem qualquer recurso ao combustível *diesel*, apresenta uma um total de produção de eletricidade relativamente superior ao cenário anterior, com excesso de produção em vários meses do ano (cfr. Fig. 23). Não obstante, assim como no cenário anterior, é evidente a variabilidade das FER, com exceção da biomassa que apresenta uma grande estabilidade e uma produção mensal praticamente constante.

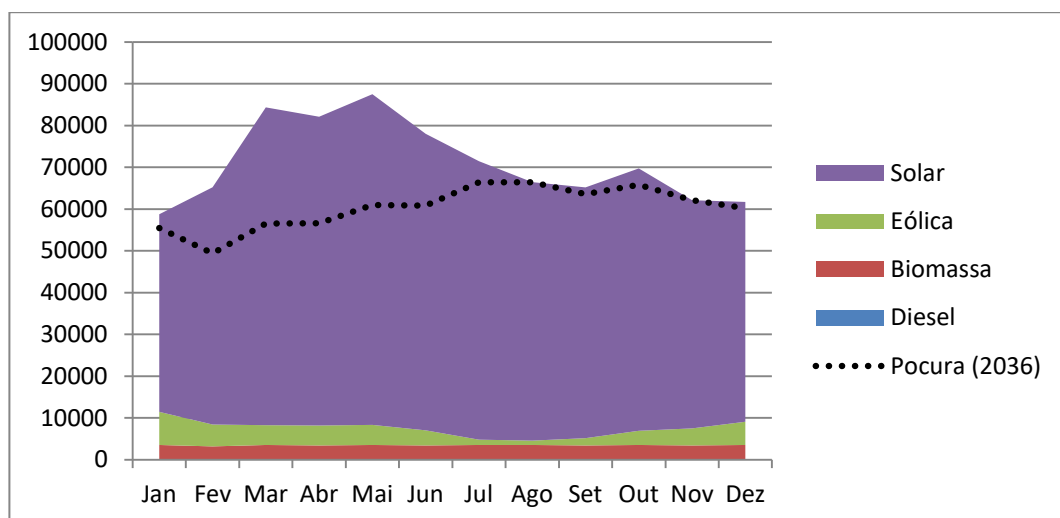


Figura 23 - Comparação da procura e produção de eletricidade previstas para o ano 2036
cenário 100% Renovável

Os resultados do cenário 100% Renovável, mas com diversificação são ilustrados na figura 24. Este cenário apresenta uma produção altamente superior aos demais cenários, o que leva ao excesso de produção, com exceção do mês de Agosto durante o qual a produção é igual a procura.

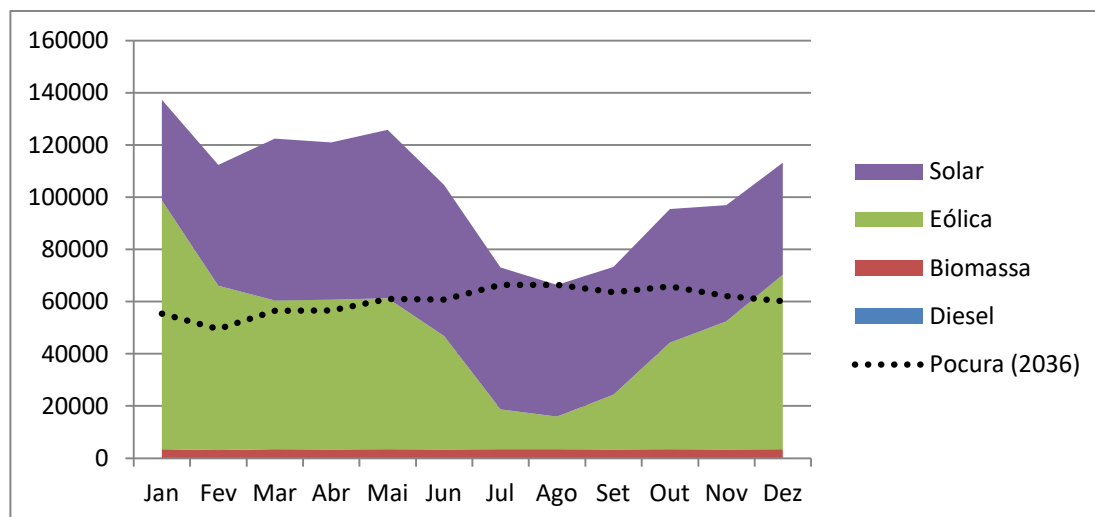


Figura 24 - Comparação da procura e produção de eletricidade previstas para o ano 2036 cenário Diversificado

A análise dos resultados demonstra que um cenário tendencialmente renovável levará a um aumento do excesso de produção, entendida como eletricidade produzida e não utilizada. Isto deve-se às características fortemente sazonais do recurso eólico cujo fator de disponibilidade nos meses de verão é bastante inferior ao dos meses de inverno. Deste modo e para satisfazer a restrição de satisfação da procura a potência instalada pelo modelo é definida pelos meses de menor disponibilidade. Assim, a modelação deverá evoluir no sentido de incluir novas tecnologias ou estratégias que permitam fazer face a esta sazonalidade de onde se destaca a possibilidade de recorrer a sistemas de armazenamento sazonal como descritos em Díaz-González et al. (2012) e Koohi-Kamali (2013).

A análise de sensibilidade consiste em simular e avaliar o grau de variação dos resultados e dos custos referentes ao projeto considerado face às alterações nas variáveis críticas para a determinação da viabilidade. Assim sendo, foi realizada uma análise de sensibilidade focada nas variáveis relevantes consideradas no cenário 100% Renovável. Portanto, foram analisadas a taxa de desconto do projeto nas condições de investimento, bem como a taxa de crescimento da procura, tendo em consideração a eficiência energética, de

modo a determinar o impacto de tais alterações na rentabilidade do projeto ao nível das variações no custo.

É certo que o desenvolvimento implica um aumento de consumo de energia nas suas diferentes formas de utilização, mas a produção de energia convencional tem um impacto negativo na qualidade ambiental. Se por um lado, o acesso à energia melhora a qualidade de vida da sociedade, por outro lado, também piora aspetos essenciais para essa condição, pondo em causa a sua continuidade futura (Nogueira, 2010). Considerando a dependência de energia como resultado do nosso modo de vida atual, a redução da emissão de CO₂ torna-se, cada vez mais, uma tarefa difícil. Segundo Nogueira (2010), a solução para atenuar estas grandes dificuldades reside em poupar energia e criar meios para a sustentabilidade do nosso desenvolvimento.

Tendo em consideração que a possibilidade de implementar medidas de eficiência energética poderia levar a uma redução na taxa de crescimento do consumo de energia elétrica no país, assumiu-se uma taxa de crescimento da procura de 3%. Os dados obtidos mostram um pequeno aumento no custo por cada MWh de eletricidade produzida (84 €/MWh para 85 €/MWh), mesmo havendo uma grande redução no custo total (743.050.000€ para 517.390.000€). Além disso, a potência total instalada diminuiu de 458 MW para 237 MW, sendo a energia eólica a mais afetada. Deste modo, apesar do custo por MWh produzido não reduzir em virtude dos investimentos necessários ao sistema, torna-se evidente que o custo global do sistema elétrico se torna substancialmente mais baixo com ganhos significativos para a sociedade e para o país, pondo assim em evidência a importância da implementação de medidas de eficiência energética.

Na simulação variou-se ainda a taxa de desconto de 5% para 10%. Os dados obtidos mostram uma ligeira redução do custo de 84 euros/MWh para 82 euros/MWh pela redução dos valores atualizados de O&M mas sem alterações significativas aos valores de potência instalada.

5. CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

O elevado custo da eletricidade, as alterações climáticas e a falta de resposta às solicitações da procura de energia são algumas das preocupações de Cabo Verde e de muitos outros países, sobretudo os insulares. Tal situação representa uma forte motivação para a exploração e desenvolvimento de outras fontes alternativas, amigas do ambiente e de preferência renováveis, estabelecendo assim uma evidente ligação entre a energia, o ambiente e o desenvolvimento sustentável.

Cabo Verde não possui quaisquer recursos energéticos de origem fóssil. A eletricidade produzida maioritariamente pelo recurso aos derivados do petróleo é apontada como uma das principais razões para as dificuldades sentidas no sector elétrico no país. Nestas condições, o arquipélago vê-se confrontado com a necessidade de desenvolver formas alternativas de produção de energia, nomeadamente, promovendo e incentivando a utilização dos recursos energéticos endógenos. Não podemos esquecer que, Cabo Verde apresenta uma das tarifas de eletricidade e água mais elevadas a nível mundial. Portanto, é uma *"aspiração dos agentes económicos e das populações que o custo da eletricidade, e consequentemente o custo da água, venham a decrescer com a introdução das energias renováveis na matriz energética do país"* (Neves, 2012: p. 70).

As fontes renováveis assumem, assim, especial relevância na estratégia do país para a energia, sendo a solução direta e mais eficaz para substituir os combustíveis fósseis. Além disso, a técnica de geração de eletricidade a partir de energias renováveis possui inúmeras vantagens, uma vez que é proveniente de fonte de energia gratuita, segura e fiável. Destaca-se entre estas vantagens os benefícios ambientais, como a redução das emissões de gases responsáveis pelo efeito de estufa.

Quanto aos aspetos sociais, a geração de eletricidade a partir de fontes renováveis pode trazer benefícios consideráveis para Cabo Verde, desde a criação de postos de trabalho, melhoria do acesso à eletricidade pela população, redução no custo de geração de energia elétrica, promovendo o desenvolvimento de outros setores económicos altamente dependentes de um sistema elétrico estável, e consequentemente, o desenvolvimento do país. Por outro lado, a valorização energética permite também reduzir a dependência relativamente à importação dos derivados de petróleo, o que se traduz numa poupança considerável a nível da balança comercial nacional.

No entanto, apesar de o crescimento da produção de eletricidade a partir de fontes renováveis ter potencial para compensar o uso substancial de combustíveis fósseis, colocam-

se alguns desafios relacionados com a variabilidade de alguns desses recursos, que ameaçam o abastecimento regular e fiável de energia. Na verdade, a geração da eletricidade a partir de algumas fontes renováveis é mais imprevisível comparativamente às fontes convencionais. Adicionalmente, algumas fontes renováveis, como a energia eólica e a solar, são muito sensíveis à existência de obstáculos, pelo que este aspeto deve ser tido em conta na localização dos geradores eólicos e painéis solares no terreno, de modo a maximizar a disponibilidade destes para a conversão de energia elétrica.

Por seu turno, a biomassa, é uma fonte estável, cuja disponibilidade não depende das condições atmosféricas, podendo ser armazenada e usada de acordo com a procura. Esta situação representa uma vantagem importante permitindo que a geração de eletricidade a partir da biomassa seja altamente previsível. Na verdade, o seu aproveitamento é de elevada importância para Cabo Verde, uma vez que permite a produção de energia e, simultaneamente reduzir as emissões GEE. Além disso, em regiões insulares a penetração da biomassa na geração de eletricidade permite a resolução de outros problemas tais como a decomposição dos resíduos e a falta de espaços para essa decomposição (Gesto, 2011). É de referir ainda o seu impacto social traduzido na criação de emprego, sobretudo em zonas rurais, contribuindo para a fixação da população. Não obstante, a contribuição da biomassa para a geração de eletricidade em Cabo Verde é bastante reduzida.

Por outro lado, existe a questão do custo de investimento, que constitui a principal barreira à implementação das fontes renováveis no sistema. Mesmo assim, a integração de fontes renováveis em Cabo Verde pode ser viabilizada pela intervenção do Governo, com sistemas de incentivos, através de parcerias público-privadas, de modo a obter financiamento privado ou pela criação de linhas de crédito. A obtenção/atração de investimento privado para a energia elétrica de fonte renovável pode constituir uma forma de aliviar a forte pressão que o investimento inicial exerce sobre o setor público no financiamento do setor energético de Cabo Verde. Por outro lado, as linhas de crédito além de condições de financiamento mais vantajosas permitem reduzir o risco dos promotores (Gesto, 2011).

Este projeto tencionou contribuir para a reflexão sobre o eventual aumento da integração das energias renováveis no sistema energético em Cabo Verde. Nesse âmbito, apresenta-se um modelo de planeamento elétrico com o objetivo de apoiar a decisão estratégica de longo prazo, tendo em conta a necessidade de conciliar objetivos de minimização de custos com as restrições do sistema. Pretendeu-se formular, em particular, uma análise da integração das energias renováveis, tendo em conta o potencial estimado para

Cabo Verde, a disponibilidade desses recursos, os custos e as perspectivas de consumo elétrico com base nas previsões anuais para um período de 20 anos.

Foram simulados quatro cenários distintos, cada um com uma contribuição renovável diferente para a produção de eletricidade. O primeiro cenário considera apenas os projetos já existentes em Cabo Verde, tendo como base o ano 2015. Nesse ano, a contribuição total das fontes renováveis para a geração de eletricidade foi cerca de 23%. Por seu turno, o cenário Renovável Alto representa um total de 90% da contribuição renovável, enquanto o cenário 100% Renovável apresenta uma participação de 100%, uma vez que prevê uma produção de eletricidade totalmente renovável. Assim como o cenário 100% Renovável, o cenário Diversificado assume uma participação de 100% de energias renováveis, garantindo também a diversificação do sistema produtor.

Os resultados demonstram que o aumento das fontes renováveis no sistema terá um grande impacto sobre o custo total. Quanto maior for a percentagem renovável no sistema maior será o custo. Para além dos custos, as emissões de CO₂ foram também alvo de análise no nosso estudo. Como seria expectável, o aumento das fontes renováveis no sistema reduz as emissões de CO₂, ou seja, quanto mais renovável for o sistema, menos CO₂ é emitido.

Da análise da produção mensal foi possível verificar a sazonalidade das fontes de energia, sendo a da biomassa a mais estável, comparativamente à eólica e à solar.

A análise foi ainda conduzida de forma a comparar a procura com a produção mensal de eletricidade, permitindo avaliar o comportamento dos diferentes sistemas face aos quatro cenários. Desta análise ressalta a baixa produção de eletricidade nalguns meses (para todos os cenários), devido sobretudo à sazonalidade associada à fonte eólica afetando o comportamento do sistema, o que compromete a sua produção e a capacidade de resposta à procura. Adicionalmente, em cenários FER nos meses de inverno o excesso de produção é evidente, tornando-se essencial analisar possíveis formas de minimizar esta eletricidade não utilizada.

A elevada sazonalidade do recurso eólico colocou assim em evidência a necessidade de analisar tecnologias de armazenamento que deverão ser consideradas em futuras versões do modelo de planeamento, tendo em consideração as especificações do sistema em causa caracterizado pelo isolamento, reduzido desnível dos terrenos e sem cursos de água. Adicionalmente, será importante avaliar a inclusão de outras tecnologias de produção de eletricidade que embora ainda em desenvolvimento poderão ser promissoras para o país nomeadamente as ondas e marés ou tecnologias solares de concentração.

Este trabalho pretende ser mais um contributo para se compreender a importância que este tipo de projeto tem para o país, tendo em consideração fatores relevantes, como o crescimento do consumo de eletricidade, a disponibilidade dos recursos e a segurança do abastecimento energético. Em suma, acredita-se que o sistema de produção analisado permite responder às necessidades energéticas da ilha, bem como proporcionar condições para que o desenvolvimento socioeconómico local seja uma realidade, através de baixos custos de eletricidade, maior segurança no abastecimento e um impacto ambiental substancialmente reduzido.

No entanto, é preciso realçar as dificuldades encontradas ao longo deste trabalho, verificadas especialmente na recolha de dados e na sua aplicação no *software*. Embora se tenha procurado selecionar documentos que abordem apenas a realidade do país, foram recolhidos e analisados outros documentos que não se debruçam de forma direta sobre o caso em estudo, uma vez que as preocupações energéticas são um tema ainda pouco explorado em Cabo Verde. Contudo, ao longo da recolha de informação, foi tido o cuidado de selecionar os dados que se aproximassem mais do contexto de Cabo Verde.

Os evidentes impactos macroeconómicos, bem como os benefícios ambientais e a redução da dependência energética fazem das energias renováveis um sector que deve ser alvo de aposta por parte do Governo de Cabo Verde. Considera-se, por isso, relevante que em trabalhos futuros se proceda a uma abordagem mais detalhada das áreas de desenvolvimento dos projetos renováveis em Cabo Verde, um parâmetro que poderá influenciar significativamente a viabilidade do projeto. Este documento visa estimular mais estudos nesta área, dado haver espaço para mais investigação e exploração, com o propósito da criação de um sistema de geração de eletricidade mais eficiente e sustentável. Neste sentido, recomenda-se a extensão da dimensão do estudo da integração das energias renováveis no sistema energético das restantes ilhas, de modo a alcançar um sistema 100% renovável no país. Há também a necessidade de se estender a recolha dos resíduos sólidos para outros locais do país, visto que a biomassa representa uma participação pouco significativa na geração de eletricidade, proporcionando, assim, o aumento da segurança energética. Seria ainda interessante estudar formas de armazenamento de energia, dada a variabilidade dos recursos, de modo a garantir o abastecimento total da procura energética no país nos meses de baixo potencial renovável (julho, agosto e setembro), pois as técnicas de armazenamento têm desempenhado um papel muito importante neste tipo de sistemas, permitindo um elevado aproveitamento de excesso de eletricidade produzida, revelando-se um meio eficiente de

incorporação de energia proveniente de fontes renováveis que em muito pode contribuir para a disseminação deste tipo de aproveitamento em situações de interrupção.

O presente estudo constitui um impulso para uma reflexão mais alargada que deverá envolver vários agentes, nomeadamente académicos, políticos, empresários e técnicos especializados na área, na medida em que só numa visão em rede poderá dar resposta a uma problemática estrutural na qualidade de vida dos cidadãos cabo-verdianos.

BIBLIOGRAFIA

- African Economic Outlook* (2016). *Sustainable Cities and Structural Transformation*. Disponível em: http://www.oecd-ilibrary.org/development/african-economic-outlook-2016_aeo-2016-en, consultado em setembro de 2016.
- Akella, A. K., Saini, R. P., & Sharma, M. P. (2009). Social, economical and environmental impacts of renewable energy systems. *Renewable Energy*, 34, 390-396.
- Alves, L. M. M., Costa, A. L., & Carvalho, M. G. (2000). Analysis of potential for market penetration of renewable energy technologies in peripheral islands. *Renewable Energy*, 19 (1-2), 311-317.
- Amaral, L. P., Araújo, A., Mendes, E., & Martins, N. (2014). Economic and environmental assessment of renewable energy micro-systems in a developing country. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 7, 101-110.
- Belward, A., Bisselink, B., Bódis, K., Brink, A., Dallemand, J. F., Roo, A., Huld, T., Kayitakire, F., Mayaux, P., Moner-Girona, M., Ossenbrink, H., Pinedo, I., Sint, H., Thielen, J., Szabó, S., Tromboni, U. & Willemen, L. (2011). *Renewable Energies in Africa: Current Knowledge*. Joint Research Centre, European Commission, Luxembourg.
- Bilal B. O., Sambou, V., Ndiaye, P. A., Kébé, C. M. F., & Ndongo, M. (2010). Optimal design of a hybrid solar–wind–battery system using the minimization of the annualized cost system and the minimization of the loss of power supply probability (LPSP). *Renewable Energy*, 35, (10), 2388-2390.
- Biswal G. C., & Shukla S. P. (2014). Social aspects of wind power generation - A review. *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 9 (4), 22-28.
- Cabeólica (2014). *Relatório & conta 2014*.
- Cai, Y. P., Huang, G. H., Yang, Z. F., Lin, Q. G., & Tan, Q. (2009). Community-scale renewable energy systems planning under uncertainty – an interval chance-constrained programming approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (4), 721-735.
- Carneiro, M. P. G. (2010). *Avaliação económica da biomassa para a produção de energia* (Dissertação de Mestrado em Engenharia Industrial). Universidade do Minho, Braga (Portugal).
- Castro, R. (2011). *Uma introdução às energias renováveis: eólica, fotovoltaica e mini-hídrica*. Lisboa: IST Press.
- Chen, F., Duic, N., Alves, L. M., & Carvalho, M. G. (2007). Renewislands - Renewable energy solutions for island. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11 (8), 1888-1902.

- Cohen, C. A. M. J. (2002). *Padrões de consumo: desenvolvimento, meio ambiente e energia no Brasil*. (Tese de Doutorado em Ciência em Planejamento Energético) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (Brasil).
- Colombo U. (1984) A strategic view of the world energy problem. *Environment International*, 10 (5-6), 347-358.
- Connolly, D., Lund, H., Mathiesen, B.V., & Leahy, M. (2010). A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems. *Applied Energy* 87 (4), 1059-1082.
- Connolly D., Lund H., Mathiesen, B. V., & Leahy, M. (2011). The first step towards a 100% renewable energy-system for Ireland. *Applied Energy*, 88 (2), 502-07.
- Cosic, B., Krajcic, G. & Duic, N. (2012). A 100% renewable energy system in the year 2050: The case of Macedonia. *Energy*, 48, 80-87.
- Dagdougui, H., Minciardi, R., Ouammi, A., Robba, M., & Sacile, R. (2010). A dynamic decision model for the real-time control of hybrid renewable energy production systems. *Systems Journal, IEEE*, 4 (3), 323-333.
- Dell, R. M., & Rand, D. A. J. (2001). Energy storage — a key technology for global energy sustainability. *Journal of Power Sources*, 100 (1-2), 2-17.
- Diakoulaki, D., Antunes, C. H., & Martins, A. G. (2005). MCDA and energy planning. Figueira, J. & Greco, S., Ehrgott, M. (Eds.). *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys*. Boston: Springer Science and Business Media, Inc.
- Díaz-González, F., Sumper, A., Gomis-Bellmunt, O., & Villafáfila-Robles, R. (2012). A review of energy storage technologies for wind power applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (4), 2154-2171.
- Dihrab, S. S., & Sopian, K. (2010). Electricity generation of hybrid PV/wind systems in Iraq. *Renewable Energy*, 35 (6), 1303-1307.
- Dornan, M. (2014). Access to electricity in small island developing states of the pacific: issues and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 726-735.
- Duic, N., Alves, L. M., Chen, F., & Carvalho, M. G. (2003). Potential of kyoto protocol clean development mechanism in transfer of clean energy technologies to small island developing states: case study of Cape Verde. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 7 (1), 83-98.
- Duic, N., & Carvalho, M. G. (2004). Increasing renewables energy sources in island energy supply: case study Porto Santo. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8 (4), 383-399.
- Ecowas Centre for Renewable Energy and Energy Efficiency (ECREEE) (2014). *Relatório sobre a situação das energias renováveis e eficiência energética na CEDEAO*.
- Electra (2012). *Relatório e contas 2012*.

- Ferreira, P., Trindade, M., Martins, J. & Afonso, J. L. (2003). Interfaces for renewable energy sources with electric power systems. *Environment 2010: Situation and Perspectives for the European Union*, Porto, Portugal.
- Foley, A. M., Gallachóir, B. P., Hurc, J., Baldick, R., & McKeogh, E. J. (2010) A strategic review of electricity systems models. *Energy* 35 (12), 4522-4530.
- Gesto (2011). *Plano Energético Renovável de Cabo Verde (PERCV)*.
- Ghermandi A., & Messalem R. (2009). Solar-driven desalination with reverse osmosis: the state of the art. *Desalination and Water Treatment*, 7 (1-3), 285-296.
- Goldemberg, L., & Lucon, O. (2007). Energia e meio ambiente no Brasil. *Estudos Avançados*, 21 (59), 21-38.
- Guarnieri, R. A., Pereira, E. B., Martins, F. R. & Chan, C. S. (2006). *Previsões de radiação solar para o setor de energia: pós-processamento estatístico das saídas do modelo*. ETA/CPTEC. In: Congresso brasileiro de meteorologia, Florianópolis.
- Gudelj, A., & Krčum, M. (2013). Simulation and optimization of independent renewable energy hybrid system. *Transactions on Maritime Science*, 2, 28-35.
- Herold D., & Neskakis A. (2001). A small PV-driven reverse osmosis desalination plant on the island of Gran Canaria. *Desalination*, 137 (1-3), 285-292.
- Hobbs B. F. (1995). Optimization methods for electric utility resource planning. *European Journal of Operational Research*, 83 (1), 1-20.
- Huld, T., Müller R. & Gambardella A. (2012). A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. *Solar Energy*, 86 (6), 1803-1815.
- International Energy Agency (IEA) (2015). *About energy access*. Disponível em: <http://www.iea.org/topics/energypoverty/>, consultado em Setembro de 2016.
- Instituto Nacional de Estatísticas (INECV) (2015). *Anuário Estatístico de Cabo Verde 2015*.
- Instituto Nacional de Estatísticas de Cabo Verde (INECV) (2014). *Inquérito Multi-objetivo Contínuo 2014: Estatísticas das Famílias e Condições de Vida*.
- International Renewable Energy Agency (IRENA) (2013). *Africa's renewable future: the path to sustainable growth*.
- International Renewable Energy Agency (IRENA) (2014). *Estimating the Renewable Energy Potential in Africa: A GIS-based approach*.
- Jebaraj, S., & Iniyar, S. (2006). A review of energy models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10 (4), 281-311.
- Karunanithi, K., Kannan, S. & Thangaraj, C. (2015). Generation expansion planning for Tamil Nadu: a case study. *International Transactions on Electrical Energy Systems* 25 (9), 1771-1787.
- Kinner, C. H. (2010). The international barriers to renewable energy development (Dissertação de Mestrado). Colorado State University, Department of Political Science.

- Khawaji A. D., Kutubkhanah, I. K., & Wie, JM (2008). Advances in seawater desalination technologies. *Desalination*, 221 (1-3), 47-69.
- Koohi-kamali, S., Tyagi, V. V., Rahim, N. A., Panwar, N. L., & Mokhlis, H. (2013). Emergence of energy storage technologies as the solution for reliable operation of smart power systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 135-165.
- Krioukov, A., Goebel C., Alspaugh, S., Chen, Y., Culler, D., & Katz, R. (2011). *Integrating Renewable Energy Using Data Analytics Systems: Challenges and Opportunities*. Bulletin of the IEEE Computer Society Technical Committee.
- Kuang, Y., Zhang, Y., Zhou, B., Li, C., Cao, Y., Li, L., & Zeng, L. (2016). A review of renewable energy utilization in islands. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 504-513.
- Li, Y. F., Huang, G. H., Li, Y. P., Xu, Y., & Chen, W. T. (2010). Regional-scale electric power system planning under uncertainty - a multistage interval-stochastic integer linear programming approach. *Energy Policy*, 38 (1), 475-490.
- Løken, E. (2007). Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11 (7), 1584-1595.
- Lund, H., Krajacic G., Duic, N., & Carvalho, M. G. (2005). Two sustainable energy system analysis models: a comparison of methodologies and results. In 3rd Dubrovnik conference on sustainable development of energy, water and environment systems: Dubrovnik, Croatia. Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture.
- Ma, T., Yang, H., & Lu, L. (2014). A feasibility study of a stand-alone hybrid solar-wind – battery system for a remote island. *Applied Energy*, 121, 149-158.
- Ma, T., Yang, H., Lu, L., & Peng, J. (2014). Technical feasibility study on a standalone hybrid solar-wind system with pumped hydro storage for a remote island in Hong Kong. *Renewable Energy*, 69, 7-15.
- Martins, R., Krajacic, G., Alves, L., Duic, N., Azevedo, T., & Carvalho (2009). Energy storage in islands - modelling porto santo's hydrogen system. *Chemical Engineering Transactions*, 18, 367-372.
- McSweeney, C., New, M., & Lizcano, G. (2012). UNDP Climate Change Country Profiles: Cape Verde. Disponíveis em <http://www.geog.ox.ac.uk/>, consultado em setembro de 2016.
- Meier P., & Mubayi V. (1983) Modelling energy-economic interactions in developing countries: a linear programming approach. *European Journal of Operational Research* 13 (1), 41-59.
- Meza, C. J. L., Yildirim, M. B., & Masud A. S. M. (2009). A multi objective evolutionary programming algorithm and its applications to power generation expansion planning. *IEEE Transactions on power systems, Man, and Cybernetics – Part A: System and Humans*, 39 (5), 1086-1096.

- Ministério do Ambiente e Agricultura (2007). *Estudos Sectoriais, Vulnerabilidade e Adaptação às Mudanças Climáticas em Cabo Verde*.
- Ministro da Economia, Crescimento e Competitividade (MECC) (2008). *Política Energética de Cabo Verde*.
- Ministério do Turismo, Indústria e Energia (MTIE) (2014b). *Evolução dos indicadores do Sector Energético em Cabo Verde: 2003-2013*.
- Ministério do Turismo, Indústria e Energia (MTIE) (2014a). *Relatório de Base para Cabo Verde*.
- Ministério de Turismo, Investimento e Desenvolvimento Empresarial (MTIDE) (2015a). *Agenda de Ação para a Energia Sustentável para Todos – Cabo Verde*.
- Ministério de Turismo, Investimento e Desenvolvimento Empresarial (MTIDE) (2015b). *Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis: Período [2015-2020]*.
- Mota, C. J. A., Silva, C. X. A., & Gonçalves, V. L. C. (2009). Gliceroquímica: novos produtos e processos a partir da glicerina de produção de biodiesel. *Química Nova*, 32 (3), 639-48.
- Nascimento, T. C., Mendonça, A. T. B. B., & Cunha, S. K. (2012). Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil. *Cadernos EBAPE.BR*, 10 (3), 630-51.
- Nasirov, S., Silva, C., & Agostini, C. A. (2015). Investors' Perspectives on Barriers to the Deployment of Renewable Energy Sources in Chile. *Energies*, 8, 3794-3814.
- Neves, E. A. D. A. (2012). *Viabilidade da energia solar fotovoltaica na produção de eletricidade em Cabo Verde: o caso da Electra* (Dissertação de Mestrado). Lisboa: ISCTE-IUL.
- Neves, D., Silva, C. A., & Connors, S. (2014). Design and implementation of hybrid renewable energy systems on micro-communities: A review on case studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 935-946
- Nogueira, H. D. (2010). *Manual das Energias Renováveis: Energia Eólica, Solar e Fotovoltaica: O Futuro do Planeta*. Lisboa: A.E.C.O.P.S., D.L.
- Painuly, J. P. (2001). Barriers to renewable energy penetration; a framework for analysis. *Renewable Energy*, 24 (1), 73-89.
- Peliganga, M. L., & Silva, R. G. A. A. (2012). *Energias renováveis: sistemas fotovoltaicos e eólicos*. Lisboa, Universidade Lusíada Editora.
- Pereira, S., Ferreira, P., & Vaz, I. (2011). Strategic electricity planning decisions. Proceedings of the Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Dubrovnik, Croatia, 25-29 September 2011.
- Pereira, S., Ferreira, P., & Vaz, A. I. F. (2016). Optimization models to support renewables integration in power systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 316-325.

- Pirotta, F. J. C., Ferreira, E. C., & Bernardo, C. A. (2013). Energy recovery and impact on land use of Maltese municipal solid waste incineration. *Energy*, *49*, 1-11.
- Pohekar, S. D., & Ramachandran, M. (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* *8* (4), 365-381.
- Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) (2015). *Relatório do Desenvolvimento Humano 2015: O trabalho como motor do desenvolvimento humano*.
- Ranaboldo, M., Lega, B. D., Ferrenbach, D. V., Ferrer-Martí, L., Moreno, R. P., & García-Villoria, A. (2014). Renewable energy projects to electrify rural communities in Cape Verde. *Applied Energy*, *118*, 280-291.
- Rei, P., Fonseca, J. P., Duic, N. & Carvalho, M. G. (2002). Integration of renewable energy sources and hydrogen storage in the Azores archipelago. Proceedings of the International Conference on New and Renewable Technologies for Sustainable Development, Ponta Delgada, Açores.
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) (2013). *Renewables: Global futures report 2013*.
- Ribeiro, F., Ferreira, P., & Araujo, M. (2011). The inclusion of social aspects in power planning. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* *15* (9), 4361-4369.
- Rodrigues, T. Pinto, J. G., Monteiro, V., Pedrosa D., & Afonso, J. L. (2014). Renewable energy system for an isolated micro grid. IEEE IECON Industrial Electronics Conference, Dallas Texas USA. 1636-1642.
- Sadeghi, H., Mohammadian, M., Abdollahi, A., Rashidinejad, M. Mahdavi, S. M (2014). Renewable-based generation expansion planning considering environmental issues using GSA. *Intelligent Computing and Intelligent Systems (ICIS) - IEEE*, Iranian Conference on.
- Samouilidis J. E. & Mitropoulos C. S. (1982) Energy-economy models: a survey. *European Journal of Operational Research* *11* (3), 222-232.
- Sarafidis, Y., Diakoulaki, D., Papayannakis, L., & Zervos, A. (1999). A regional planning approach for the promotion of renewable energies. *Renew Energy*, *18* (3), 317-330.
- Scarlat, N., Motola, V., Dallemand, J. F., Monforti-Ferrario, F., & Mofor, L. (2015). Evaluation of energy potential of municipal solid waste from African urban areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. *50*, 1269-1286
- Segurado R., Krajacic G., Duic, N., & Alves, L. (2011). Increasing the penetration of renewable energy resources in S. Vicente, Cape Verde. *Applied Energy*, *88* (2), 466-472.
- Segurado R., Costa M., Duic, N. & Carvalho, M. G. (2015). Integrated analysis of energy and water supply in islands. Case study of S. Vicente, Cape Verde. *Energy*, *92*, 639-648.

- Schröder, A., Kunz, F., Meiss, J., Mendelevitch R. & Hirschhausen C. (2013). *Current and Prospective Costs of Electricity Generation until 2050*.
- Shyu, CW. (2014). Ensuring access to electricity and minimum basic electricity needs as a goal for the post-MDG development agenda after 2015. *Energy for Sustainable Development*, 19 (1), 29-38.
- Spang, E. (2006). *The potential for wind-powered desalination in water-scarce countries* (Tese de Mestrado). Tufts University: The Fletcher School.
- Sudhakar, R., & Painuly, J. P. (2004). Diffusion of renewable energy technologies - barriers and stakeholders' perspectives. *Renewable Energy*, 29 (9), 1431-1447.
- Tekiner, H., Coit, D. W. & Felder, F. A. (2010). Multi-period multi-objective electricity generation expansion planning problem with Monte-Carlos imulation. *Electric Power Systems Research*, 80 (12), 1394-1405.
- The World Bank* (2015). *Cabo Verde: Aspetos gerais*. Disponível em: <http://www.worldbank.org/pt/country/caboverde/overview>, consultado em setembro de 2016.
- Union for the Coordination of Transmission of Electricity (UCTE) (2009). *UCTE System Adequacy Forecast 2009-2020*.
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2016). *Global trends in renewable energy investment 2016*.
- Vijayapriya, T. & Kothari, D. P. (2011). Smart grid: An overview. *Smart Grid and Renew Energy*, 2 (4), 305-311.
- Walker-Leigh V. (2012). Small islands push for new energy. Disponível em: <http://ourworld.unu.edu/en/small-islands-push-for-new-energy>, consultado em setembro de 2016.
- Weisser, D. (2004). On the economics of electricity consumption in small island developing states: a role for renewable energy technologies? *Energy Policy*, 32 (1), 127-140.
- Yu, F. R., Zhang, P., Xiao, W., & Choudhury, P. (2011). Communication systems for grid integration of renewable energy resources. *IEEE Network*, 25 (5), 22-29.
- Zhou, Z., Benbouzid, M. E. H., Charpentier, J. F., Sculler, F., & Tang, T. (2013). A review of energy storage technologies for marine current energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 390-400.
- Zhou, W., Lou, C., Li, Z., Lu, L., & Yang, H. (2010). Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar-wind power generation systems. *Applied Energy*, 87 (2), 380-389.

Sítios:

ARE. Disponível em <http://www.arenas.gov.br>, consultado em setembro de 2016.

EMBCV. Disponível em http://embcv.pt/lista_conteudos_sub.asp?idcont=3199&idarea=4&idsub=786, consultado em setembro de 2016.

FAO. Disponível em <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>, consultado em setembro de 2016.

GCV. Disponível em <http://www.governo.cv/index.php/dados-gerais>, consultado em setembro de 2016.

Inforpress. Disponível em <http://noticias.sapo.cv/inforpress/artigo/72319.html>, Consultado em setembro de 2016.

NASA. Disponível em <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/> consultado em setembro de 2016.

PVGIS. Disponível em <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>, consultado em setembro de 2016.

SIDS. Disponível em <http://www.sids2014.org/index.php?menu=1541>, consultado em setembro de 2016.

<http://webcarta.net> consultado em setembro de 2016.

<https://en.wind-turbine-models.com> consultado em setembro de 2016.

**ANEXO I – ZONA DE DESENVOLVIMENTO DE ENERGIA
EÓLICA DE TERRAS ALTAS**

Terras Altas (15,017139, -23,439215)			
Meses/Ano	Averaged Wind Speed (V)	P (Kw)	phi (MW)
Janeiro	8,46	372,02	0,438
Fevereiro	7,74	270,44	0,318
Março	7,11	219,74	0,259
Abril	7,26	230,84	0,272
Maio	7,19	225,66	0,265
Junho	6,62	181,05	0,213
Julho	4,72	64,13	0,075
Agosto	4,48	52,78	0,062
Setembro	5,22	90,07	0,106
Outubro	6,35	161,89	0,190
Novembro	6,81	196,32	0,231
Dezembro	7,71	267,71	0,315

**ANEXO II – ZONA DE DESENVOLVIMENTO DE ENERGIA
EÓLICA DE PRAIA BAIXO**

Praia Baixo (15.074381, -23.481630)			
Meses/Ano	Averaged Wind Speed (V)	P (Kw)	phi (MW)
Janeiro	8,46	372,02	0,438
Fevereiro	7,74	270,44	0,318
Março	7,11	219,74	0,259
Abril	7,26	230,84	0,272
Maio	7,19	225,66	0,265
Junho	6,62	181,05	0,213
Julho	4,72	64,13	0,075
Agosto	4,48	52,78	0,062
Setembro	5,22	90,07	0,106
Outubro	6,35	161,89	0,190
Novembro	6,81	196,32	0,231
Dezembro	7,71	267,71	0,315

**ANEXO III – ZONA DE DESENVOLVIMENTO DE ENERGIA
EÓLICA DE MONTE DE CHAMINÉ**

Monte da Chaminé (15.056735, -23.551670)			
Meses/Ano	Averaged Wind Speed (V)	P (Kw)	phi (MW)
Janeiro	8,46	372,02	0,438
Fevereiro	7,74	270,44	0,318
Março	7,11	219,74	0,259
Abril	7,26	230,84	0,272
Mai	7,19	225,66	0,265
Junho	6,62	181,05	0,213
Julho	4,72	64,13	0,075
Agosto	4,48	52,78	0,062
Setembro	5,22	90,07	0,106
Outubro	6,35	161,89	0,190
Novembro	6,81	196,32	0,231
Dezembro	7,71	267,71	0,315

**ANEXO IV – ZONA DE DESENVOLVIMENTO DE ENERGIA
EÓLICA DE MONTE DE SÃO FELIPE**

Monte de São Filipe (14.969933, -23.524420)			
Meses/Ano	Averaged Wind Speed (V)	P (Kw)	phi (MW)
Janeiro	8,3	344,92	0,406
Fevereiro	7,59	256,79	0,302
Março	7,03	213,82	0,252
Abril	7,06	216,04	0,254
Mai	6,97	209,19	0,246
Junho	6,09	145,41	0,171
Julho	4,23	41,33	0,049
Agosto	4,05	33,09	0,039
Setembro	4,68	62,23	0,073
Outubro	6	139,7	0,164
Novembro	6,71	188,28	0,222
Dezembro	7,63	221,22	0,260

**ANEXO V – ZONA DE DESENVOLVIMENTO DE ENERGIA
EÓLICA DE ACHADA DE PONTA DA BOMBA**

Achada de Ponta Bomba (15.016551, -23.433083)					
Meses/Ano	Em (kWh)	Dias/Mês	Horas/Dia	Horas/Ano	phi
Janeiro	119	31	24	744	0,160
Fevereiro	125	28	24	672	0,186
Março	171	31	24	744	0,230
Abril	163	30	24	720	0,226
Maio	172	31	24	744	0,231
Junho	155	30	24	720	0,215
Julho	145	31	24	744	0,195
Agosto	139	31	24	744	0,187
Setembro	134	30	24	720	0,186
Outubro	136	31	24	744	0,183
Novembro	117	30	24	720	0,163
Dezembro	113	31	24	744	0,152

**ANEXO VI – ZONA DE DESENVOLVIMENTO DE ENERGIA
EÓLICA DE ACHADA RIBEIRA PEDRO**

Achada Ribeira Pedro (14.974398, -23.701372)					
Meses/Ano	Em (kWh)	Dias/Mês	Horas/Dia	Horas/Ano	phi
Janeiro	119	31	24	744	0,160
Fevereiro	125	28	24	672	0,186
Março	172	31	24	744	0,231
Abril	164	30	24	720	0,228
Maio	173	31	24	744	0,233
Junho	158	30	24	720	0,219
Julho	150	31	24	744	0,202
Agosto	139	31	24	744	0,187
Setembro	132	30	24	720	0,183
Outubro	136	31	24	744	0,183
Novembro	118	30	24	720	0,164
Dezembro	115	31	24	744	0,155

**ANEXO VII – ZONA DE DESENVOLVIMENTO DE ENERGIA
SOLAR DE ACHADA BELA COSTA**

Achada Bela Costa (15.320, -23.704)					
Meses/Ano	Em (kWh)	Dias/Mês	Horas/Dia	Horas/Ano	phi
Janeiro	68,5	31	24	744	0,092
Fevereiro	118	28	24	672	0,176
Março	150	31	24	744	0,202
Abril	152	30	24	720	0,211
Maio	168	31	24	744	0,226
Junho	147	30	24	720	0,204
Julho	137	31	24	744	0,184
Agosto	123	31	24	744	0,165
Setembro	123	30	24	720	0,171
Outubro	135	31	24	744	0,181
Novembro	119	30	24	720	0,165
Dezembro	113	31	24	744	0,152