



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

HILIENE DA COSTA DE CARVALHO

**PROJEÇÃO DE DEMANDA ENERGÉTICA DO SETOR RESIDENCIAL EM
CABO VERDE: ANÁLISE DA INSERÇÃO DE MICROGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA POR CLASSE DE RENDA**

ITAJUBÁ

2021

HILIE NE DA COSTA DE CARVALHO

**PROJEÇÃO DE DEMANDA ENERGÉTICA DO SETOR RESIDENCIAL EM
CABO VERDE: ANÁLISE DA INSERÇÃO DE MICROGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA POR CLASSE DE RENDA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Energia.

Área de concentração: Planejamento e Gestão de Sistemas Energéticos

Orientador: Prof. Dr. Roberto Akira Yamachita

ITAJUBÁ

2021

Dedico esta dissertação a todos que perderam alguém durante a pandemia de Covid-19 e a todos que estejam lutando contra essa doença, que nunca falte esperança que dias melhores chegarão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente pela vida, por tudo que Ele tem permitido nela, por cada realização, conquistas e vitórias. Por todos os ensinamentos, lições e aprendizado. Agradeço por ser sempre minha fonte de força, esperança e fé me tornando o melhor de mim a cada dia.

Aos meus pais José e Suzana, que nunca pouparam esforços na minha formação pessoal e acadêmica. Agradeço pela confiança em mim depositada, pelo carinho, amor e dedicação, por sempre exigirem o melhor de mim, me ensinando os principais valores da vida, como o amor, o respeito e a compreensão.

Ao meu orientador professor Dr. Roberto Akira Yamachita, por ter aceitado me orientar durante essa fase importante da minha vida. Agradeço pela confiança, disponibilidade, apoio e principalmente atenção durante esses anos.

Aos meus irmãos Vladimir, Suzainne e Eliane, que sempre foram meus modelos vida e minha inspiração. Agradeço pelo incentivo e pela força, por sempre estarem por perto mesmo estando longe.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa que permitiu a realização deste estudo.

Ao Diretor de Serviços de Energias de Cabo Verde Ariel Assunção e ao professor Dr. José Joaquim C. S. Soares pelas informações enviadas e pela disponibilidade em ajudar.

À minha amiga Livya, pela amizade, companheirismo e compartilhamento de conhecimento. Agradeço pela força e motivação, por sempre estar presente nos bons e nos maus momentos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação que contribuíram para a minha formação durante o mestrado na Universidade Federal de Itajubá, pela amizade e conhecimento transmitido.

Aos membros da banca examinadora, pela participação no exame de qualificação e defesa da dissertação.

À todos que responderam e ajudaram a compartilhar o questionário e a todos que contribuíram de forma direta ou indireta, fica o meu mais sincero agradecimento.

RESUMO

O crescimento económico e populacional tem impulsionado um forte aumento na demanda energética. A utilização em massa de energia oriunda de combustíveis fósseis têm trazido várias discussões devido aos problemas ambientais tais como aumento das emissões de gases de efeito de estufa, desmatamento, poluição, etc. Cabo Verde que se enquadra no grupo dos países de desenvolvimento médio segue a mesma tendência. O país possuiu uma matriz energética com predominância de combustíveis de origem fóssil provenientes do mercado externo. Diante disso este trabalho elaborou uma projeção do consumo energético no setor residencial em Cabo Verde até 2030. Para isso foi proposto 3 cenários, o cenário de Referência que segue as tendências nacionais a partir das políticas adotadas pelo governo, o cenário Eficiente que visa o consumo eficiente da energia a partir de troca de equipamentos e mudanças nos hábitos comportamentais e um cenário de Microgeração Solar Fotovoltaica Distribuída - MSFD nas duas últimas classes de renda, com o objetivo de verificar a viabilidade técnica e econômica do projeto. Para a projeção desses cenários utilizou-se o *software LEAP-Long Range Energy Alternatives Planning System*. Os resultados deste estudo mostram que para o cenário de Referência a demanda de energia final deverá crescer cerca 2,3% ao ano e a demanda da energia elétrica crescerá a uma taxa de 5% ao ano até 2030. Relativamente ao cenário Eficiente a demanda de energia final crescerá a uma taxa de 1,9% ao ano representando uma diminuição de 54,6 GWh de um cenário para outro. Quanto a demanda da energia elétrica no cenário Eficiente cresceu a uma taxa de 4,3% ao ano contabilizando uma diminuição no consumo de 90,1 GWh em relação ao cenário de Referência. A análise da inserção da energia solar fotovoltaica por classe de renda mostrou que o investimento é economicamente viável apresentando um *Payback* de 5 anos. Com esse sistema os domicílios estariam deixando de consumir diretamente da rede elétrica no horizonte de planejamento até 2030, cerca de 222 GWh de energia. Assim sendo é de extrema importância que haja elaboração de um planejamento energético de forma a garantir a continuidade no fornecimento de energia e proporcionar um atendimento da demanda de forma eficiente, já que os recursos são escassos. É importante que estudos desse gênero sejam elaborados de forma que os gestores energéticos tenham uma base sólida para as tomadas de decisões.

Palavras-chave: Planejamento Energético. Demanda Energética. Energia Solar Fotovoltaica. LEAP.

ABSTRACT

Economic and population growth has driven a sharp increase in energy demand. The mass use of energy from fossil fuels has brought several discussions due to environmental problems such as increased emissions of greenhouse gases, deforestation, pollution, etc. Cape Verde, which falls in the group of medium development countries, follows the same trend. The country has an energy matrix with a predominance of fossil fuels from the external market. Given this, this work developed a projection of energy consumption in the residential sector in Cape Verde until 2030. For this, 3 scenarios were proposed, the Reference scenario which follows national trends from policies adopted by the government, the Efficient scenario which aims at the efficient consumption of energy from the exchange of equipment and changes in behavioral habits and a scenario of Distributed Solar Photovoltaic Microgeneration - DSPM in the last two income classes, to verify the technical and economic viability of the project. For the projection of these scenarios, the LEAP-Long Range Energy Alternatives Planning System software was used. The results of this study show that for the Reference scenario the final energy demand should grow about 2.3% per year and the demand for electrical energy will grow at a rate of 5% per year until 2030. Regarding the Efficient scenario, the final energy consumption will grow at a rate of 1.9% per year representing a decrease of 54.6 GWh from one scenario to the other. As for the demand for electrical energy in the Efficient scenario, it will grow at a rate of 4.3% per year accounting for a decrease in consumption of 90.1 GWh concerning the Reference scenario. The analysis of the insertion of photovoltaic solar energy by income class showed that the investment is economically viable presenting a payback of 5 years. With this system, the households would be ceasing to consume directly from the electric grid in the planning horizon until 2030, about 222 GWh of energy. Therefore, it is extremely important that energy planning is carried out to ensure continuity in the supply of energy and to meet the demand efficiently since resources are scarce. Studies of this kind must be prepared so that energy managers have a solid basis for decision-making.

Keywords: Energy Planning. Energetic Demand. Solar Photovoltaic Energy. LEAP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Capacidade instalada de energia renováveis no mundo.....	20
Figura 2: Previsões da capacidade instalada de sistemas de aproveitamento de energia renovável entre 2019 e 2024 por tecnologia.....	20
Figura 3: Patentes registradas para tecnologias de energia renovável em 2018.....	21
Figura 4: Custo total médio ponderado de investimento global (tecnologia PV)	25
Figura 5: Custo total médio ponderado de investimento global (tecnologia CSP)	26
Figura 6: Custo médio total instalado, do fator de capacidade e LCOE para CSP entre 2010 e 2019	27
Figura 7: Capacidade instalada de sistema de aproveitamento de energia eólica offshore por país.	29
Figura 8: Custo médio total instalado, fator de capacidade e LCOE para energia eólica onshore entre 2010 e 2019.....	31
Figura 9: Fases de operação de um Planeamento Energético.....	32
Figura 10: Localização geográfica de Cabo Verde	38
Figura 11: Central de dessalinização de água na cidade da Praia	40
Figura 12: Evolução anual de produção de energia elétrica por ilha (MWh).....	45
Figura 13: Total da produção de energia elétrica em Cabo Verde (2013 - 2017).....	46
Figura 14: Percentagem de população com acesso à energia elétrica (2013 - 2017)	47
Figura 15: Potencial renovável por tecnologia em Cabo Verde	48
Figura 16: Radiação global nas ilhas em estudo	49
Figura 17: Zonas para Desenvolvimento de Energias Renováveis (recurso solar)	50
Figura 18: Mapa das velocidades média do vento no arquipélago.....	51
Figura 19: Identificação e Localização das ZDER para projetos eólicos.....	51
Figura 20: Contribuição da Cabeólica na produção de energia.....	52
Figura 21: Mapa potencial marítimo	53
Figura 22: Mapa resumo do potencial hidrelétrico reversível.	54
Figura 23: Mapa do potencial geotérmico	55
Figura 24: Zonas para Desenvolvimento de Energias Renováveis (recurso RSU)	55
Figura 25: Tela principal da ferramenta LEAP	64
Figura 26: Exemplo de árvore do LEAP	64
Figura 27: “Árvore” do modelo do LEAP para o consumo da energia elétrica utilizada no estudo.....	65

Figura 28: “Árvore” do modelo do LEAP para o consumo energético utilizada no estudo	65
Figura 29: Percentagem das residências, segundo a posse de equipamento doméstico.	71
Figura 30: Potencial de economia do consumo com a introdução de etiquetas nos equipamentos selecionados	77
Figura 31 Consumo da energia elétrica no ano de base por usos finais	81
Figura 32: Consumo energético no setor residencial no ano de base por combustível..	82
Figura 33: Evolução do consumo de energia elétrica por usos finais para o cenário de Referência.....	83
Figura 34: Evolução do consumo energético por combustível para o cenário de Referência	84
Figura 35: Consumo energético por combustível no ano de base e no ano final para o cenário de Referência	85
Figura 36: Evolução do consumo de energia elétrica por usos finais para o cenário de Eficiente.....	85
Figura 37: Evolução do consumo energético por combustível para o cenário Eficiente	86
Figura 38: Consumo energético por combustível no ano de base e no ano final para o cenário de Eficiente	87
Figura 39: Comparação da evolução de consumo de energia elétrica, de acordo com o cenário de 2017 a 2030.....	88
Figura 40: Comparação dos resultados de consumo de energia elétrica, de acordo com o cenário, ano 2030.....	88
Figura 41: Comparação entre os cenários de consumo de energia elétrica por uso final, ano 2030	89
Figura 42: Comparação da evolução de consumo energético, de acordo com o cenário de 2013 a 2030	90
Figura 43: Comparação dos resultados de consumo energético, de acordo com os cenários, ano 2030.....	91
Figura 44: Comparação dos resultados de consumo energético por combustível, de acordo com o cenário, ano 2030.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Custos globais de eletricidade por fonte renovável em 2018.	21
Tabela 2: diferenças entre os modelos top-down e bottom-up.	33
Tabela 3: Classificação dos modelos energéticos.	34
Tabela 4: Tarifa de eletricidade Electra.	44
Tabela 5: Tarifa de eletricidade AEB.	44
Tabela 6: Descontos tarifa social.	45
Tabela 7: Produção de energia elétrica por fonte no país.	46
Tabela 8: Percentagem da população urbana e rural com acesso à energia elétrica.	47
Tabela 9: Evolução do PIB de Cabo Verde e por Ilha (em milhões de ECV).	57
Tabela 10: Evolução do PIB per capita de Cabo Verde e por ilha (em ECV).	58
Tabela 11: consumo energético por setor e por fonte em GWh no ano 2013.	59
Tabela 12: Consumo energético residencial por fonte em Gwh.	59
Tabela 13: Número de habitantes por domicílio.	66
Tabela 14: Fontes de energia utilizadas para iluminação no setor residencial (%).	69
Tabela 15: Tipos de lâmpadas utilizadas nas residências.	70
Tabela 16: Fontes de energia utilizadas para cocção no setor residencial.	70
Tabela 17: Potência e energia consumida dos eletrodomésticos.	72
Tabela 18: Metas nacionais estimadas para iluminação no ano 2030.	76
Tabela 19: Taxa e percentagem de penetração dos eletrodomésticos nos domicílios.	77
Tabela 20: Demanda de energia elétrica nos dois cenários, por uso final no ano 2030 em GWh.	90
Tabela 21: Dados utilizados no cálculo da viabilidade económica.	93
Tabela 22: Fluxo de caixa do projeto em US\$	93
Tabela 23: Viabilidade económica do projeto.	93

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução mundial da capacidade total instalada de sistemas de aproveitamento de energia renovável, em GW	19
Gráfico 2: Países com maior capacidade instalada de sistemas de aproveitamento de energia renovável, em GW	19
Gráfico 3: Evolução da capacidade instalada de sistemas de aproveitamento de energia solar a nível mundial no período de 2010 a 2019.....	22
Gráfico 4: Evolução da capacidade total instalada de sistemas de aproveitamento da energia solar FV no mundo no período de 2010 a 2019.....	23
Gráfico 5: Capacidade instalada a nível mundial de sistema de aproveitamento de tecnologia CSP, no período de 2010 a 2019.....	24
Gráfico 6: Repartição dos custos totais dos componentes de instalação de energia fotovoltaica por país em USD/kW.....	25
Gráfico 7: Capacidade instalada de sistemas de aproveitamento de energia eólica nos principais países produtores em 2018.....	28
Gráfico 8: Evolução da capacidade instalada de sistema de aproveitamento de energia eólica entre 2010 e 2019.....	28
Gráfico 9: Evolução do diâmetro dos rotores entre 2010 e 2018 para aerogeradores onshore.	30
Gráfico 10: Consumo final de energia por setores	41
Gráfico 11: Consumo final de energia por fonte.	42
Gráfico 12: Distribuição percentual do consumo de energia elétrica por setor em Cabo Verde	47
Gráfico 13: Evolução da população e dos agregados familiares (1990-2019).....	56
Gráfico 14: Consumo de energia elétrica no setor residencial (GWh).....	58
Gráfico 15: Distribuição do consumo de energético no setor residencial (GWh).....	60
Gráfico 16: Distribuição do consumo de energia elétrica por uso final	60
Gráfico 17: Percentagem dos domicílios segundo a posse de equipamentos domésticos	71

LISTA DE SIGLAS

AASE4ALL	Agenda de Ação para a Energia Sustentável para Todos
AEB	Águas e Energias da Boavista
ARME	Agência de Regulação Multisectorial da Economia
ECV	Escudos Caboverdianos
IEA	<i>International Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia)
INE	Instituto Nacional de Estatísticas
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i> (Agência Internacional para as Energias Renováveis)
LCOE	<i>Levelized Cost of Energy</i> (Custo Nivelado de Energia)
LEAP	<i>Long-range Energy Alternatives Planning system</i> (Sistema de Planeamento de Alternativas Energéticas de Longo Prazo)
MECC	Ministério da Economia, Crescimento e Competitividade
MICE	Ministério de Indústria Comércio e Energia
MITIE	Ministério de Turismo Indústria e Energias
PDERCV	Plano Diretor das Energias Renováveis de Cabo Verde
PERCV	Plano Energético Renovável de Cabo Verde
PESER	Plano Estratégico Setorial para as Energias Renováveis
PIB	Produto Interno Bruto
PNAER	Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEN	Sistema Elétrico Nacional
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido
ZDER	Zonas de Desenvolvimento de Energias Renováveis

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
1.2	Organização da dissertação	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Fontes de energia renováveis	18
2.1.1	Energia solar	22
2.1.2	Energia eólica	27
2.2	Planejamento energético	31
2.2.1	Modelos de sistemas de energia	33
2.2.2	Análise de viabilidade económica	35
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	37
3.1	Enquadramento geográfico	37
3.2	Setor energético	39
3.2.1	Políticas energéticas nacionais	43
3.3	Setor elétrico	43
3.4	Energias renováveis em Cabo Verde	48
3.4.1	Energia solar	49
3.4.2	Energia eólica	50
3.4.3	Outros recursos renováveis	52
4	METODOLOGIA	56
4.1	Indicadores demográficos e socioeconômicos	56
4.2	Caracterização e Modelagem do setor residencial	58
4.2.1	Estratificação por classes de renda	61
4.3	Caraterísticas específicas do LEAP	63
4.4	Cálculo do consumo de energia no setor residencial	66
4.5	Horizonte de projeções	68
4.6	Consolidação dos dados de ano de base	68
4.7	Elaboração de cenários	73
4.7.1	Cenário de referência	73
4.7.2	Cenário Eficiente	77
4.7.3	Cenário de microgeração solar fotovoltaica distribuída	78
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	81

5.1	Ano de Base	81
5.2	Cenário de Referência.....	82
5.3	Cenário Eficiente	85
5.4	Comparação entre os dois cenários.....	87
5.5	Cenário de Microgeração Fotovoltaica Distribuída.....	92
6	CONCLUSÃO	95
	REFERÊNCIAS	100
	APÊNDICE A	107
	APÊNDICE B	110
	APÊNDICE C	111

1 INTRODUÇÃO

Desde sempre o ser humano vem buscando formas de tornar a sua vida mais cômoda, trazendo conforto na realização das suas atividades diárias. Esse conforto requer um custo muito significativo ao meio ambiente. A utilização em massa de fontes de energias não renováveis vem trazendo problemas ao meio ambiente como mudanças climáticas, poluição, desmatamento, etc. Uma das principais causas dos impactos ambientais negativos é o processo de extração e transformação de recursos energéticos para o consumo. A queima dos combustíveis fósseis tem como consequência a emissão de gases de efeito estufa.

Diante dessa problemática surge a necessidade de buscar formas alternativas para produção de energia, de forma a causar menos impactos negativos ao meio ambiente para que no futuro possa haver recursos energéticos para todos. Nesse contexto surge o conceito de desenvolvimento sustentável que consiste na utilização dos recursos presentes sem prejudicar as gerações futuras. Em suma, escolher o rumo que querem dar às gerações futuras, proporcionando-lhes as mesmas ou melhores condições de vida que a geração presente.

Dessa forma passou a ser necessário alinhar o avanço da tecnologia e da economia com o desenvolvimento sustentável, com o objetivo de diminuir os danos causados no meio ambiente e gerenciar de forma eficaz os recursos disponíveis.

Nesse contexto, surge a necessidade do conceito eficiência energética. Tem surgido diversos estudos em diferentes áreas abordando esse conceito, aplicando-o em diferentes situações, desde políticas nacionais de planejamento energético até pesquisas de otimização de recursos em sistemas. Portanto, existem diversos problemas relacionados à utilização e gestão eficiente das fontes de energia (ALEIXO, 2015).

Cabo Verde como um país que depende fortemente de importações de combustíveis fósseis, devido a escassez de recursos naturais de origem fóssil para produção de energia, o que faz com que o custo da energia seja muito elevado.

O setor residencial aparece como um dos setores com maior consumo energético. Daí a importância de um estudo detalhado do consumo nesse setor quando o assunto é planejamento energético, ou seja, as políticas energéticas com o objetivo de melhorar a eficiência energética devem envolver todas as classes consumidoras.

Para atender essa crescente demanda de energia, o país vem recorrendo às fontes de energias renováveis. Assim sendo é de extrema importância que haja a elaboração de um

planejamento energético de forma a garantir a continuidade no fornecimento de energia e proporcionar um atendimento da demanda de forma eficiente, já que os recursos são escassos, causando o mínimo possível de danos a natureza. Portanto, é preciso elaborar projeções de demanda energética nos mais diversos setores de consumo, apresentando a sua evolução ao longo do horizonte de planejamento, para ajudar os gestores energéticos na formulação de políticas energéticas consistentes, que são fundamentais para o desenvolvimento sustentável do país. Nesse sentido o presente trabalho tem os objetivos propostos nos tópicos a seguir.

1.1 Objetivos

De modo a se poder elaborar projeções para o futuro é necessário então conhecer os melhores caminhos e suas consequências levando em consideração a sustentabilidade ambiental e a evolução energética. Para tal, o planejamento energético apresenta uma forte contribuição para conhecer as implicações das decisões a tomar. Tendo em conta a problemática apresentada, os objetivos deste trabalho estão divididos em objetivo geral e objetivos específicos.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é apresentar e analisar os diferentes cenários de evolução do consumo energético no setor residencial em Cabo Verde até 2030, levando em consideração os usos finais e os tipos de combustíveis, e analisar o cenário de microgeração da energia solar fotovoltaica distribuída por classes de renda, de forma a verificar os impactos do crescimento da eficiência e da posse de equipamentos elétricos no consumo e conhecer as alternativas possíveis a serem implementadas a nível nacional.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estabelecer uma base de dados sobre a demanda energética no setor residencial de Cabo Verde, visto que até então existem poucos estudos estratificados por setores de consumo;
- Elaborar a projeção da demanda energética no setor residencial, até 2030, utilizando o *software* LEAP, por usos finais e tipos de combustíveis para verificar como será a sua variação ao longo do horizonte de planejamento;

- Elaborar diferentes cenários de consumo energético no setor residencial com o propósito de verificar como este varia de acordo com as premissas adotadas, de forma a dar a conhecer qual o cenário mais sustentável;
- Analisar o cenário de inserção de microgeração fotovoltaica por classe de renda, para observar a quantidade de energia que poderia ser economizada e a quantidade de emissões que poderiam ser evitadas caso esses domicílios adotassem o sistema;
- Compreender o impacto energético da inserção de sistema solar fotovoltaico na demanda final de energia ao longo do horizonte de planejamento;
- Fazer uma análise de viabilidade técnica e econômica da inserção de sistemas solares fotovoltaicos no setor residencial, de forma a verificar se o sistema fotovoltaico será viável economicamente a partir dos índices de viabilidade econômica;
- Sugerir, baseado nas projeções e nos cenários, propostas para a redução no consumo, levando em consideração, a redução da intensidade energética e mudanças nos hábitos de consumo.

1.2 Organização da dissertação

Além deste capítulo onde foi apresentado uma contextualização inicial do estudo, a motivação para o desenvolvimento da pesquisa, o problema identificado e os objetivos gerais e específicos, o trabalho contém mais 5 capítulos, introdução, revisão bibliográfica, caracterização da área de estudo, metodologia, resultados e discussões e considerações finais.

O capítulo 2 descreve a revisão bibliográfica sobre as fontes de energias renováveis, energia solar fotovoltaica, de concentração solar e eólica *onshore*, *offshore*, seus desenvolvimentos tecnológicos, custos e mercados mundiais. Posteriormente é apresentada a revisão do conceito de planejamento energético, dos modelos de sistemas energéticos e viabilidade econômica de projetos.

O capítulo 3 faz a caracterização da área de estudo, onde é feito o enquadramento geográfico do país, mostrando as suas particularidades e a caracterização do setor elétrico e energético, apresentando de forma sucinta como ela está estruturada e os principais desafios que esses setores enfrentam face a escassez de recursos.

Também é apresentado uma revisão sobre as energias renováveis e as Zonas de Desenvolvimento de Energias Renováveis – ZDER, que são os possíveis lugares com potencial para instalação de projetos de energias renováveis, nomeadamente o recurso solar, eólico, marítimo, geotérmico, usinas hidrelétricas reversíveis e aproveitamento

energético dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), apresentados no Plano Estratégico Setorial das Energias Renováveis.

O capítulo 4 apresenta as metodologias para a projeção de demanda energética no setor residencial. Este capítulo apresenta os dados demográficos e socioeconômicos do país, nomeadamente a evolução da população, o Produto Interno Bruto - PIB do país e por ilha, o PIB *per capita* e o número de domicílios. Posteriormente foi feita uma caracterização e modelagem do setor residencial, apresentando as características do consumo elétrico e energético nesse setor por uso final e por combustíveis. Com isso foi apresentado o memorial de cálculo utilizado nas projeções da demanda energética por uso final e por tipo de combustível. Logo após foi apresentada a descrição dos cenários propostos de forma a avaliar a variação da demanda energética de acordo com cada um dos cenários propostos. Foram analisados três cenários, o primeiro foi denominado de cenário de Referência, o segundo cenário Eficiente e o terceiro cenário de Microgeração Solar Fotovoltaica Distribuída.

O capítulo 5 apresenta os resultados e discussões onde foram mostrados os resultados finais obtidos da metodologia proposta em forma de gráficos, tabelas, etc.

O capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho, de acordo com os dados obtidos durante o desenvolvimento deste estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo é apresentado uma revisão bibliográfica sobre as fontes de energias renováveis, energia solar fotovoltaica e de concentração solar e eólica *onshore* e *offshore*, seus desenvolvimentos tecnológicos, custos e mercados mundiais. Posteriormente são apresentadas uma revisão do conceito de planejamento energético, dos modelos de sistemas energéticos e da viabilidade econômica de um projeto.

2.1 Fontes de energia renováveis

A matriz energética mundial é baseada predominantemente na utilização de combustíveis fósseis. A utilização em massa dessa fonte de combustíveis têm trazido várias discussões, devido aos problemas ambientais tais como o aumento das emissões de gases de efeito de estufa, a poluição ambiental, mudanças climáticas, etc. Diante disso, as energias renováveis apareceram como alternativa para reduzir os efeitos dessa crise ambiental e energética.

Pesquisas e estudos técnicos, econômicos e de impactos socioeconômicos e ambientais de empreendimentos de energias alternativas ou renováveis têm sido desenvolvidos. Esses estudos são voltados para o desenvolvimento de alternativas na produção de energia a partir da biomassa de origem vegetal e animal (bioenergias), da velocidade do vento (energia eólica), da captação da luz solar (energia solar e térmica) e a partir do aproveitamento hídrico.

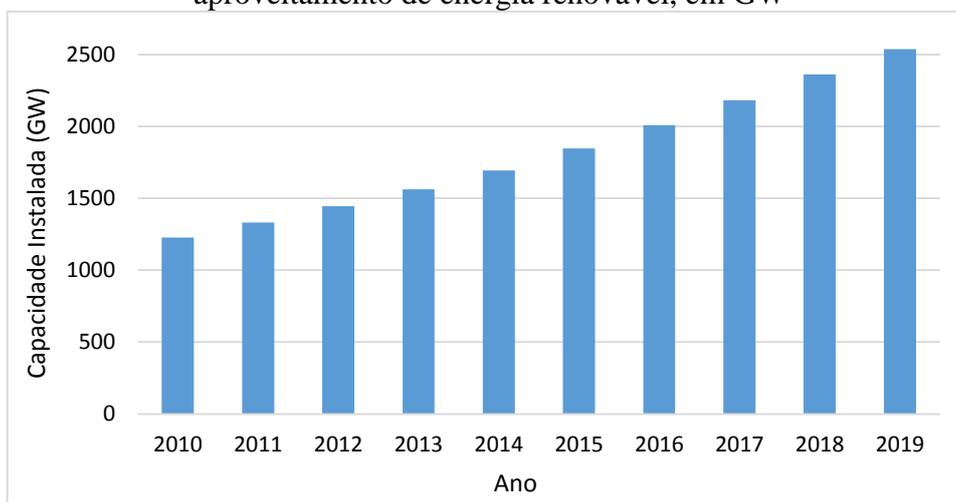
Entretanto, de acordo com Bermann (2018), é extremamente difícil prever-se que essas fontes possam ser capazes de substituir a energia fóssil em um futuro próximo, visto que, as previsões apontam para um cenário tendencial em que o petróleo, o carvão mineral e o gás natural continuarão dominando a matriz energética mundial.

A quantidade de energia que o Sol emite para a Terra é muito grande, mas pouco é aproveitado. Da radiação solar emitida pelo sol, uma parte fornece calor, a outra forma os ventos, os potenciais hidráulicos dos rios (pela evaporação e condensação) e as correntes marinhas. Uma pequena parte é absorvida pelos vegetais através da fotossíntese e serve para sustentar toda a cadeia alimentar do planeta (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

O potencial de energia renovável inexplorada do planeta, é amplo e está distribuído em países desenvolvidos e em desenvolvimento da mesma forma. Em muitos cenários, explorar esse potencial oferece oportunidades únicas para apresentar objetivos ambientais e de desenvolvimento econômico (INTERACADEMY COUNCIL, 2007).

O Gráfico 1 apresenta a capacidade total instalada de sistemas de aproveitamento de energia renovável, em GW no período de 2010 a 2019. Em 2019 a capacidade de instalada de energia renovável alcançou 2.537 GW a nível mundial, registrando um aumento de 176 GW em relação a 2018.

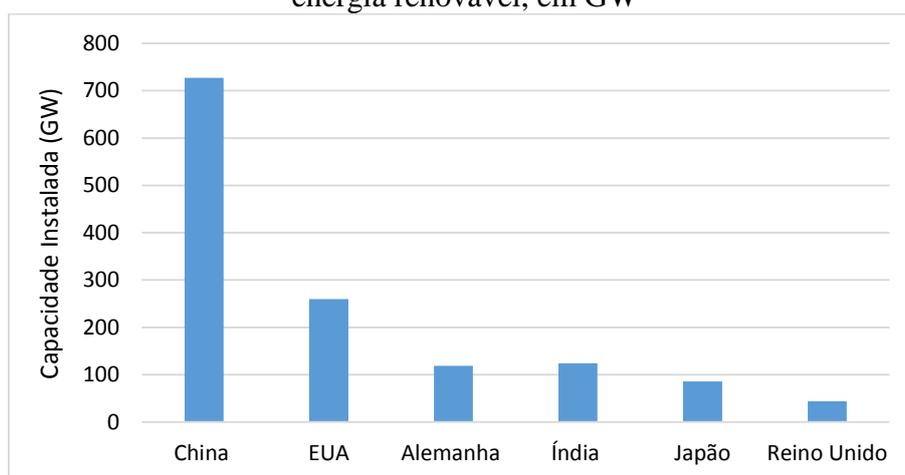
Gráfico 1: Evolução mundial da capacidade total instalada de sistemas de aproveitamento de energia renovável, em GW



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de IRENA (2020)

Os países que apresentaram maior capacidade total instalada de sistemas de aproveitamento de energia renovável, incluindo as hidrelétricas foram a China com 727 GW, seguido dos Estados Unidos com 260 GW. O Gráfico 2 apresenta os países com maior capacidade de energia renovável instalada em 2018.

Gráfico 2: Países com maior capacidade instalada de sistemas de aproveitamento de energia renovável, em GW



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de REN21 (2019)

Combinando a energia eólica, a energia solar fotovoltaica, as bioenergias e energia geotérmica, pelo menos 45 países atingiram a potência instalada de 1 GW, enquanto 17

países tem mais de 10 GW de capacidade instalada. Em 2018, os principais países com maior capacidade instalada de sistemas de aproveitamento de energia renovável, sem considerar as hidrelétricas foram China, Estados Unidos e Alemanha (mais de 100 GW), seguida pela Índia e Japão, depois Reino Unido, Itália, Brasil, Espanha (REN21, 2019). O gráfico da Figura 1 ilustra a capacidade instalada de sistemas de aproveitamento de energia renovável, em GW no mundo, na União Europeia (UE-28) e nos países que apresentaram maior potencial em 2018.

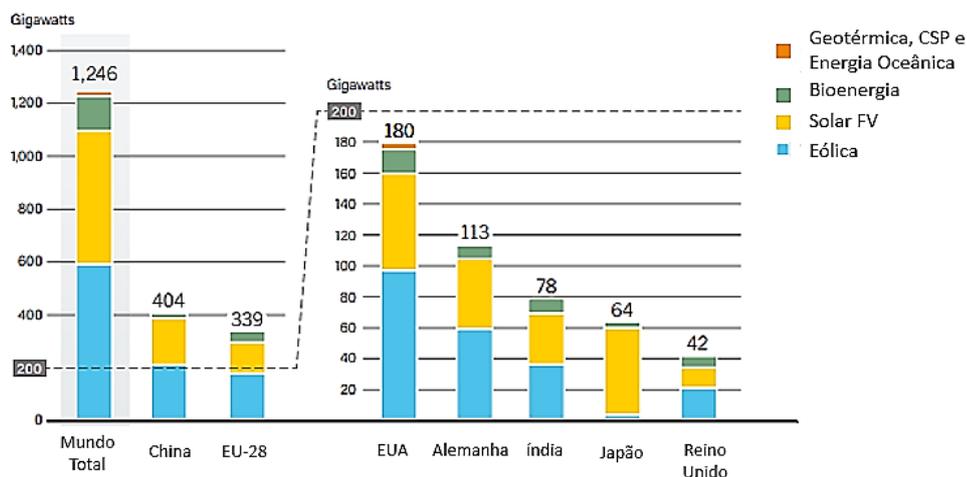


Figura 1: Capacidade instalada de energia renováveis no mundo
 Fonte: Adaptado de REN21 (2019)

A participação das energias renováveis na geração mundial de eletricidade atingiu 25% em 2018, permanecendo em 10% na produção de calor e abaixo de 4% na demanda de transporte. O gráfico da Figura 2 apresenta as previsões da capacidade instalada de sistemas de aproveitamento de energia renovável entre 2019 e 2024 por tecnologia em GW.

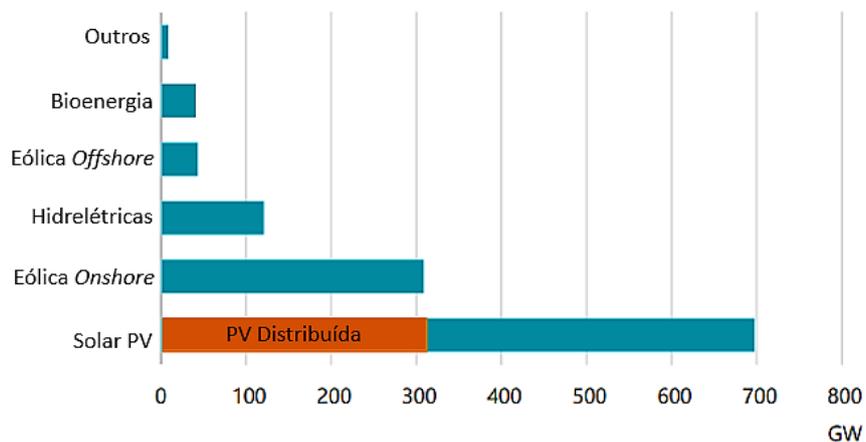


Figura 2: Previsões da capacidade instalada de sistemas de aproveitamento de energia renovável entre 2019 e 2024 por tecnologia
 Fonte: Adaptado de IEA (2019)

A habilidade de renovar, desenvolver e comercializar tecnologias é um indicador importante da capacidade de um país de avançar e tomar vantagem de oportunidades económicas que surgem. Os registros de patentes são uma maneira de avaliar as capacidades de inovação tecnológica dos países. A Figura 3 mostra as patentes registradas para tecnologias de energia renovável em 2018.

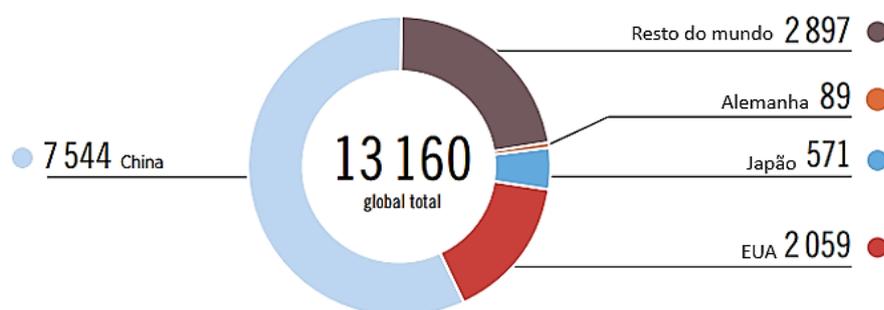


Figura 3: Patentes registradas para tecnologias de energia renovável em 2018

Fonte: IRENA (2020)

Durante 2018, três quartos das patentes referentes ao setor de energia renovável foi registrado em apenas quatro países, China registrou mais da metade das patentes, seguido dos Estados Unidos e Japão.

No que diz respeito aos custos, de acordo com IRENA (2019), na maior parte dos países, as energias renováveis são a fonte de geração de energia de menor custo hoje em dia. O custo da eletricidade a partir da bioenergia, energia hidrelétrica, geotérmica, eólica *onshore* e *offshore* está dentro da faixa custos de geração de potência alimentada por combustíveis fósseis entre 2010 e 2018. A Tabela 1 apresenta os custos globais de eletricidade por fonte renovável em 2018.

Tabela 1: Custos globais de eletricidade por fonte renovável em 2018.

	Média ponderada global Custo de eletricidade (USD / kWh) 2018	Mudança no Custo de eletricidade 2017– 2018
Bioenergia	0,062	-14%
Geotérmica	0,072	-1%
Hidroelétrica	0,047	-11%
Solar FV	0,085	-13%
Solar CSP	0,185	-26%
Eólica <i>Offshore</i>	0,127	-1%
Eólica <i>Onshore</i>	0,056	-13%

Fonte: Elaboração própria a partir de IRENA (2019)

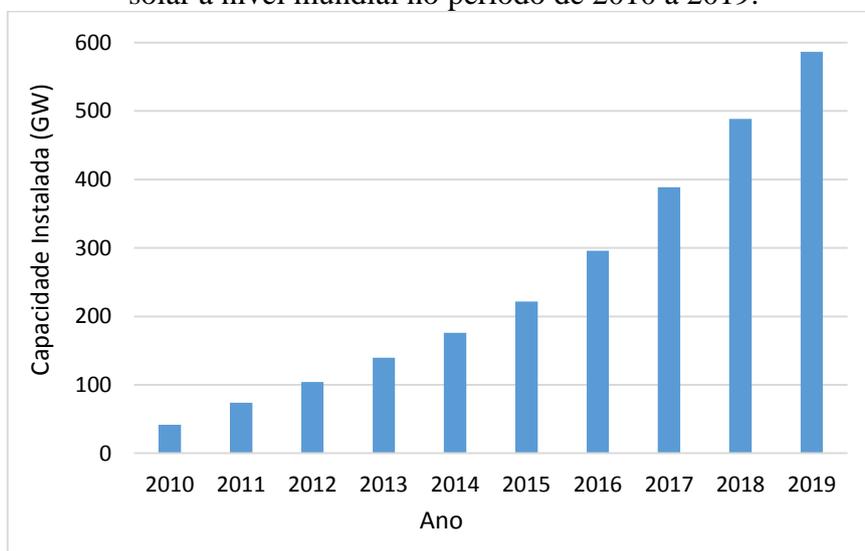
Como se pode observar o custo médio ponderado global das tecnologias de geração da eletricidade a partir de todas as fontes de energia renováveis disponíveis comercialmente diminuíram em 2018. O custo de eletricidade a partir da tecnologia de

CSP diminuiu 26%, seguido por bioenergia (14%), solar FV e eólica *onshore*, ambos diminuíram 13%, energia hidrelétrica (11%), geotérmica e *offshore* (1%).

2.1.1 Energia solar

Segundo Galdino et al. (2017), a energia solar incidente sobre a superfície da terra é milhares de vezes maior do que a demanda total de energia mundial. Contudo, sua baixa densidade (energia/área) e sua variação geográfica e temporal representam grandes desafios técnicos para o seu aproveitamento em larga escala. O Gráfico 3 apresenta a evolução da capacidade instalada de sistemas de aproveitamento de energia solar a nível mundial no período de 2010 a 2019.

Gráfico 3: Evolução da capacidade instalada de sistemas de aproveitamento de energia solar a nível mundial no período de 2010 a 2019.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de IRENA (2020)

Em 2019 a capacidade instalada de sistemas de aproveitamento de energia solar a nível mundial incluindo a tecnologia fotovoltaica (FV) e a tecnologia de concentração solar (CSP) atingiu 586 GW.

Praticamente todas as fontes de energia, a hidráulica, a biomassa, a eólica, os combustíveis fósseis e a energia dos oceanos são formas indiretas de energia solar. A radiação solar também pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes, como fonte de iluminação natural e para geração de potência mecânica ou elétrica. Ainda pode ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de sistemas termoelétrico e o fotovoltaico (ANEEL, 2005).

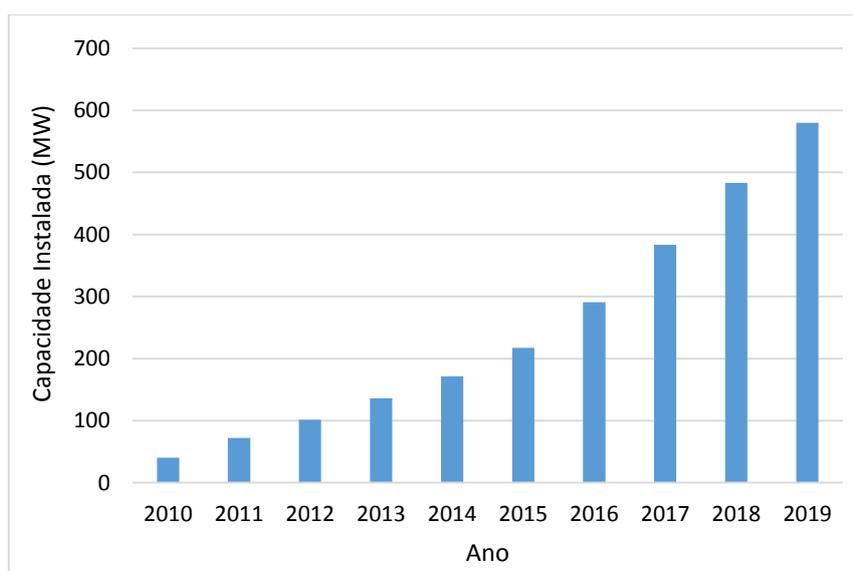
Dentre todas essas formas de energia destaca-se o sistema de aproveitamento de energia solar fotovoltaica (FV) por ser uma fonte de conversão direta da energia solar em

energia elétrica de maneira não poluente, silenciosa e apresenta menos impactos ao meio ambiente.

O sistema de aproveitamento de energia solar FV é considerada como um meio ideal para a geração de energia elétrica por ser uma fonte inesgotável, sustentável e com baixo impacto ao meio ambiente, trazendo vantagens tanto sociais e ambientais, quanto energéticos (TAKENAKA, 2010).

Em 2019 a capacidade instalada do sistema de aproveitamento de energia solar FV foi cerca de 580 MW. Entre 2018 e 2019 ocorreu um aumento de cerca de 97 MW, isso mostra o rápido aumento anual na capacidade instalada dessa tecnologia, consequência da diminuição nos custos associados a energia solar FV. O Gráfico 4 apresenta a evolução da capacidade total instalada de sistemas de aproveitamento da energia solar FV no mundo no período de 2010 a 2019.

Gráfico 4: Evolução da capacidade total instalada de sistemas de aproveitamento da energia solar FV no mundo no período de 2010 a 2019.

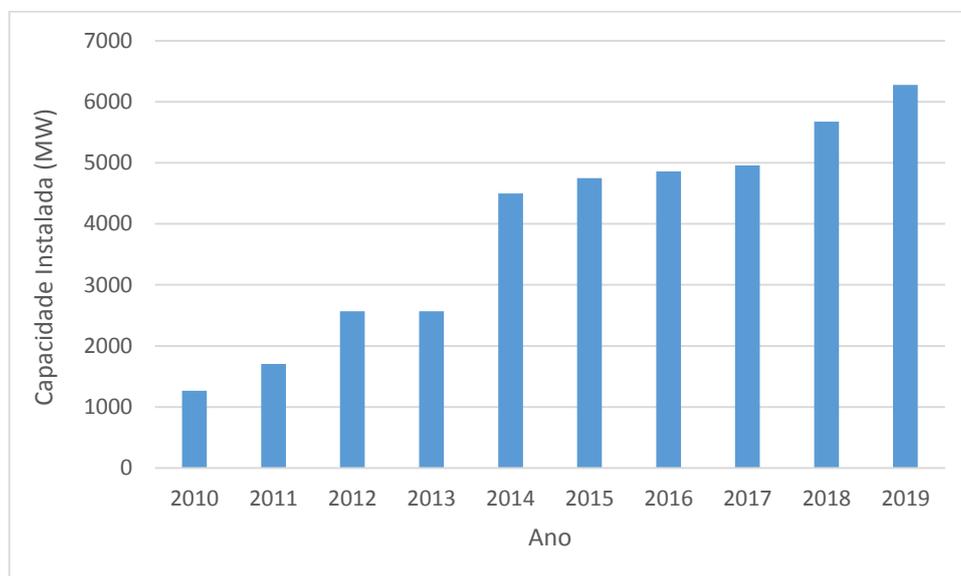


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de IRENA (2020)

A energia solar concentrada (CSP) é a energia gerada em sistemas de energia solar que usam concentradores solares para converter a energia solar em calor e posteriormente é convertido em energia. Os sistemas CSP utilizam o sol como fonte de energia térmica em vez da energia de fótons do sol utilizadas por sistemas FV. A eletricidade é gerada quando a luz concentrada aciona uma máquina de calor, conectada a um gerador de energia elétrica. A energia térmica concentrada pode ser armazenada e usada para produzir eletricidade quando necessário (SANTOS et AL, 2018). O Gráfico 5 mostra a

evolução da capacidade instalada a nível mundial de sistema de aproveitamento de tecnologia CSP, no período de 2010 a 2019.

Gráfico 5: Capacidade instalada a nível mundial de sistema de aproveitamento de tecnologia CSP, no período de 2010 a 2019



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de IRENA (2020)

2.1.1.1 Evolução tecnológica, custos e mercado mundial

Os sistemas fotovoltaicos distribuídos em residências, prédios comerciais e indústria quase triplicaram desde 2014 em todo mundo, transformando a maneira como a eletricidade é gerada e consumida (IEA, 2019).

O rápido declínio nos custos totais instalados e a queda nos custos de operação e manutenção, contribuíram para a redução no custo de eletricidade proveniente de energia solar fotovoltaica e a melhoria de sua competitividade econômica.

De acordo com o relatório da IRENA (2020), sobre o custo de geração de energias renováveis, o LCOE *levelized cost of energy* (Custo Nivelado de Energia) médio ponderado da escala global de utilidade das usinas fotovoltaicas caiu 82% entre 2010 e 2019, de cerca de US \$ 0,378 / kWh a apenas USD 0,068 / kWh. Essa estimativa de 2019 também representa um declínio ano-a-ano de 13% em relação a 2018. Globalmente, também, a gama de custos de LCOE continua a diminuir. Esse declínio no LCOE foi impulsionado pela redução de 90% nos preços dos módulos

A melhoria contínua na eficiência do módulo permitiu a redução da superfície necessária para a mesma potência, reduzindo os custos de materiais pois, o custo do

sistema está diretamente influenciados pela área de superfície dos módulos e as melhorias na fabricação.

Essa queda nos custos também se deve a redução dos custos de mão-de-obra com o aumento de fábricas automatizadas, produtividade melhorada, economias de escala em fabricação e finalmente, por aumento da concorrência entre fornecedores. O gráfico da Figura 4 mostra o declínio no custo total médio ponderado de investimento global da tecnologia solar fotovoltaica.

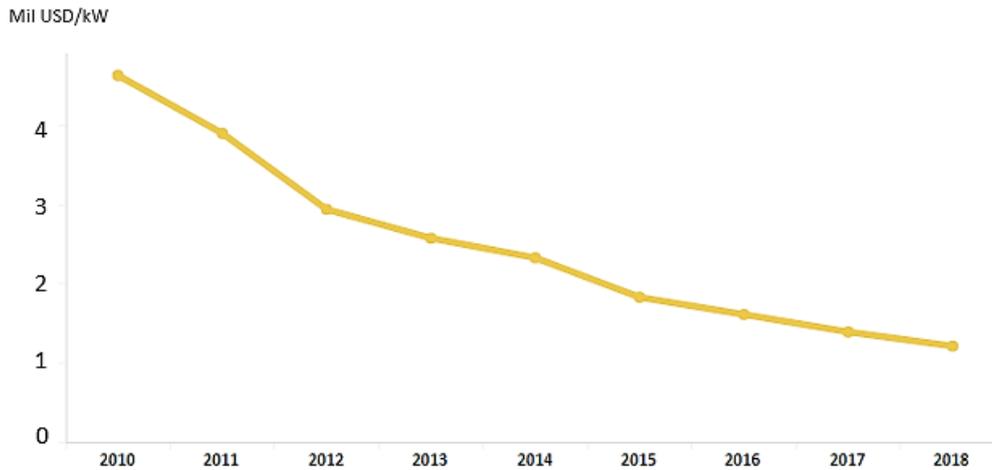
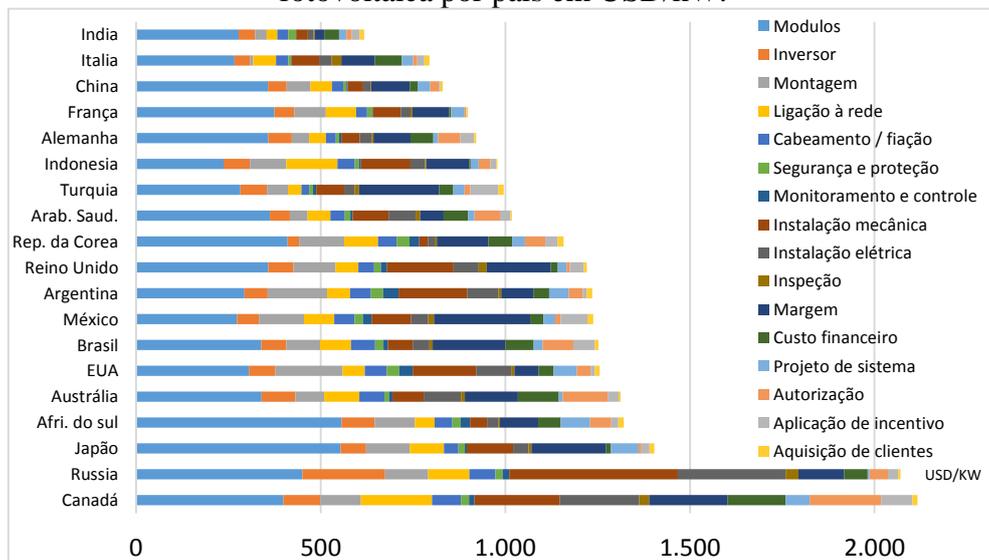


Figura 4: Custo total médio ponderado de investimento global (tecnologia PV)
 Fonte: Adaptado de IEA (2019)

Embora a tecnologia fotovoltaica solar continue amadurecendo, as diferenças nos custos por regiões persistem. O Gráfico 6 mostra a repartição detalhada dos custos totais dos componentes de instalação de energia fotovoltaica por país.

Gráfico 6: Repartição dos custos totais dos componentes de instalação de energia fotovoltaica por país em USD/kW.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de IRENA (2020)

Em nível global, reduções de custo para módulos e inversores representaram 62% do declínio global total do custo entre 2010 e 2019 (IRENA, 2020).

Para a CSP, os dados da IRENA (2020) mostraram que durante 2018 e 2019, os custos totais instalados variaram entre USD 3183 e USD 8645/kW com capacidade de armazenamento de 4-8 horas. A média ponderada de LCOE das usinas de CSP diminuiu 47% entre 2010 e 2019, de 0,346 USD / kWh a 0,182 USD / kWh. O gráfico da Figura 5 mostra o declínio no custo total médio ponderado de investimento global da tecnologia de energia solar concentrada.

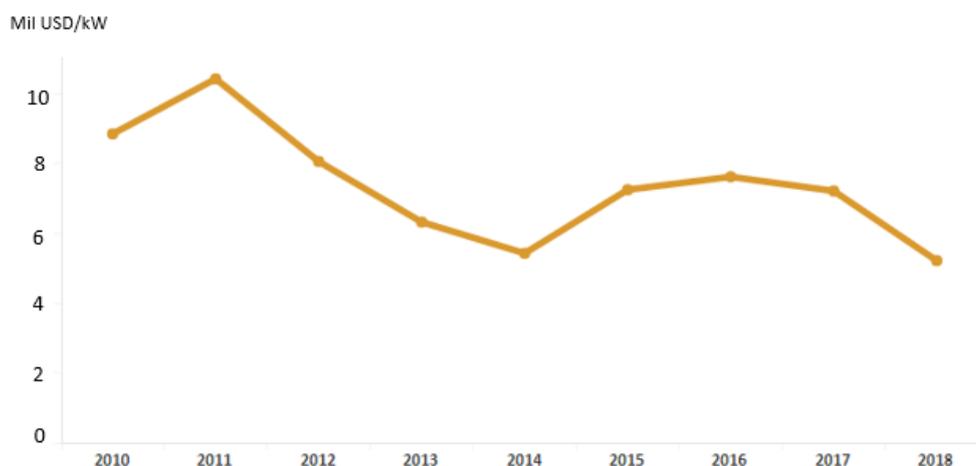


Figura 5: Custo total médio ponderado de investimento global (tecnologia CSP)
Fonte: Adaptado de IRENA (2020)

O fator de capacidade das usinas de CSP aumentou de 30% em 2010 para 45% em 2019, com a tecnologia melhorada, a implantação ocorreu em áreas com melhores recursos solares e maior número médio de horas de armazenamento (IRENA, 2020). O gráfico da Figura 6 apresenta a variação do custo médio total instalado, do fator de capacidade e LCOE para CSP entre 2010 e 2019

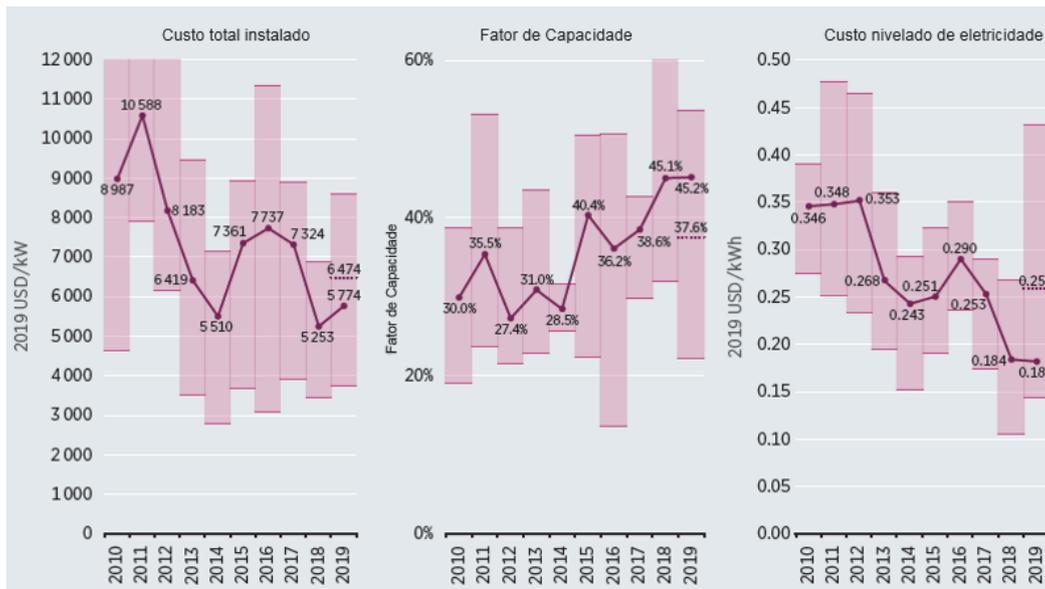


Figura 6: Custo médio total instalado, do fator de capacidade e LCOE para CSP entre 2010 e 2019

Fonte: Adaptado de IRENA (2020)

Os custos de energia eólica e solar fotovoltaica continuam diminuindo rapidamente, melhorando sua competitividade em comparação com as novas usinas de carvão e à gás natural (IRENA, 2020).

2.1.2 Energia eólica

A energia eólica pode ser definida como a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Essa energia pode ser utilizada para determinados fins que pode ser por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, por meio de turbinas eólicas, para a geração de eletricidade, ou cataventos (moinhos), para trabalhos mecânicos como bombeamento de água e moagem dos grãos (ANEEL, 2016).

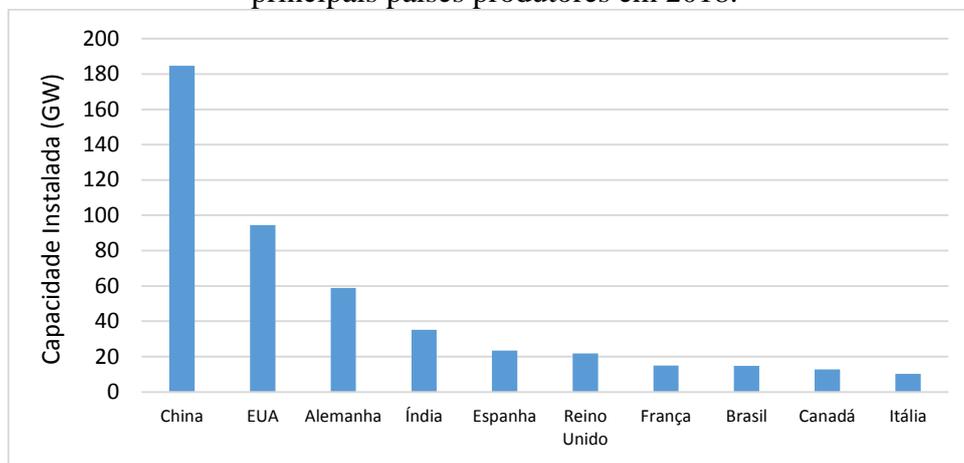
Ao longo dos anos essas tecnologias foram aperfeiçoadas até chegar na energia eólica para a produção de eletricidade que é o que mais se utiliza atualmente.

Segundo Bruni e Souza (2007), a primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública foi instalada em 1976, na Dinamarca. Em 1991, a Associação Europeia de Energia Eólica estabeleceu como metas a instalação de 4000MW de energia eólica na Europa até o ano 2000 e 11500 MW até o ano 2005.

A energia eólica é uma das tecnologias de energia renovável que vem crescendo com maior rapidez no mundo. O fator responsável por esse rápido crescimento é a queda no seu custo de produção. A capacidade instalada global de geração eólica *onshore* e *offshore* aumentou quase 75 vezes nas últimas duas décadas, passando de 7,5 GW em

1997 para cerca de 564 GW em 2018 (IRENA, 2019). O Gráfico 7 mostra a capacidade total instalada de sistemas de aproveitamento de energia eólica nos principais países produtores em GW no ano de 2018.

Gráfico 7: Capacidade instalada de sistemas de aproveitamento de energia eólica nos principais países produtores em 2018.

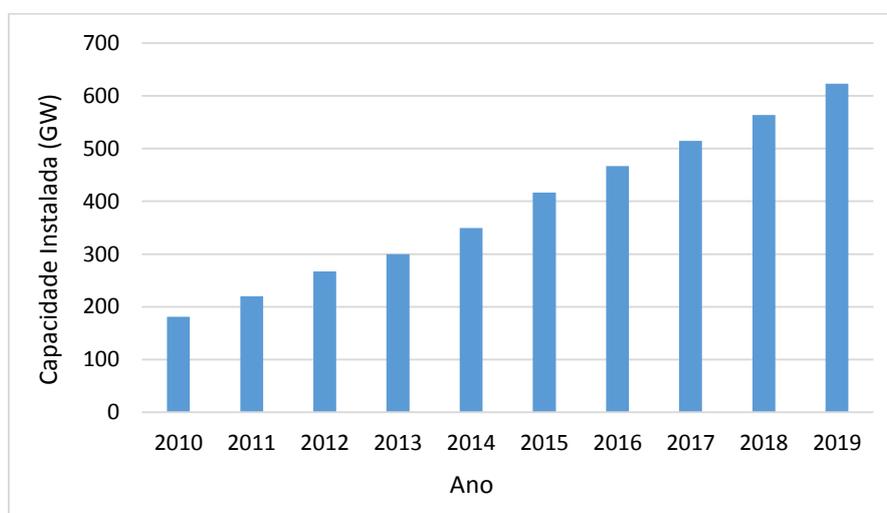


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de IRENA (2020)

O país que apresentou maior capacidade instalada de sistema de aproveitamento de energia eólica em 2018 foi a China com 184,7 GW seguido dos Estados Unidos com 94,4 GW.

A capacidade instalada de sistemas de aproveitamento de energia eólica passou de 180,8 GW em 2010 para 622,7 GW em 2019, contabilizando um aumento de 442 GW. O Gráfico 8 mostra a evolução da capacidade instalada de sistemas de aproveitamento de energia eólica entre 2010 e 2019 em GW.

Gráfico 8: Evolução da capacidade instalada de sistema de aproveitamento de energia eólica entre 2010 e 2019.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de IRENA (2020)

2.1.2.1 Evolução tecnológica, custos e mercado mundial

De acordo com os dados da IEA (2020), a eletricidade gerada pela energia eólica *onshore* vem aumentando ao longo dos anos, permanecendo a maior tecnologia de energia renovável excluindo a hídrica. Embora a capacidade da energia eólica *onshore* tem aumentado, cerca de 20% em relação a 2018, ela não está completamente alinhada com os níveis projetados no Cenário de Desenvolvimento Sustentável (SDS), logo, precisa de melhorias. Para alcançar o nível SDS em 2030 precisaria de aumentos anuais de geração de 10%, ou seja, as adições anuais de capacidade líquida precisam crescer continuamente de cerca de 55 GW em 2019 para 108 GW em 2030 (IEA, 2020).

De acordo com IEA (2019), em 2018 a energia eólica *offshore* forneceu 0,3% da energia elétrica total mundial, mas o mercado cresceu quase 30% ao ano desde 2010, perdendo apenas para a energia solar. A Figura 7 apresenta capacidade instalada de sistema de aproveitamento de energia eólica *offshore* por país.

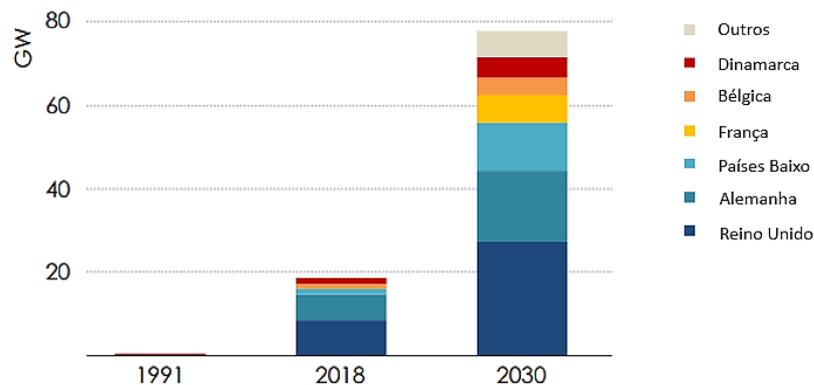


Figura 7: Capacidade instalada de sistema de aproveitamento de energia eólica offshore por país.

Fonte: Adaptado de IEA (2019)

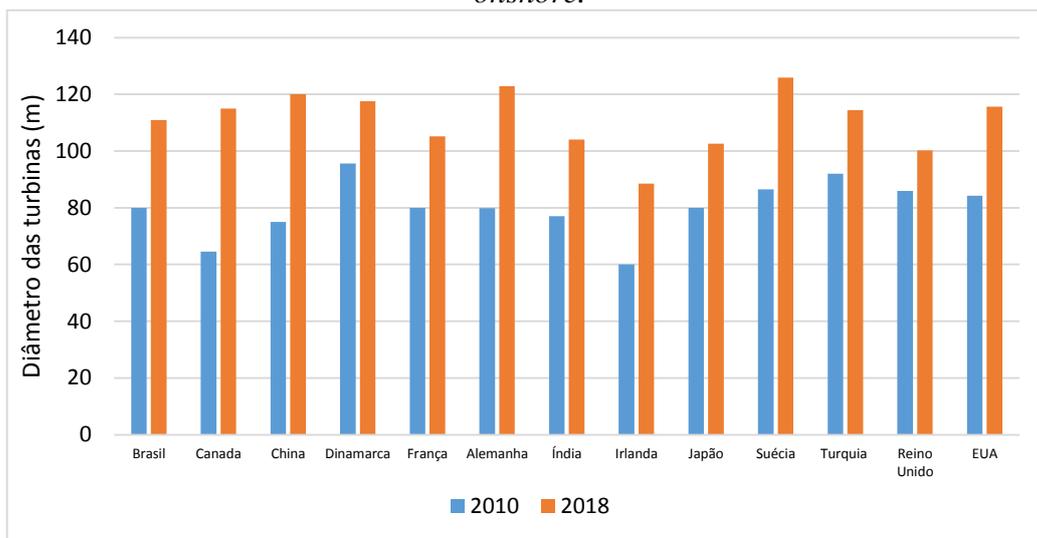
A Europa tem incentivado o desenvolvimento da tecnologia eólica *offshore* nas últimas três décadas e, com as políticas atuais, deve quadruplicar sua capacidade até 2030. Enquanto a União Europeia continua no comando até 2040, a China se move fortemente e muitos novos mercados ganham ponto de apoio.

A quantidade de energia que pode ser extraída do vento depende do tamanho da turbina e do comprimento das pás dos aerogeradores. A potência extraída do vento é proporcional à sua velocidade e às dimensões das pás. Por isso a importância de escolher lugares com condições de vento favorável para instalação de projetos eólicos.

Turbinas maiores, desenvolvimento de tecnologia e baixos custos de financiamento estão reduzindo os custos de novos projetos. Políticas energéticas que permitem financiamento de baixo custo são fundamentais para impulsionar a energia eólica *offshore* em direção à competitividade (IEA, 2019).

O Gráfico 9 ilustra a evolução do diâmetro dos rotores entre 2010 e 2018 para aerogeradores *onshore*.

Gráfico 9: Evolução do diâmetro dos rotores entre 2010 e 2018 para aerogeradores *onshore*.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de IREMA (2019)

O maior aumento em diâmetro do rotor ocorreu no Canadá (78%) seguido pela China (60%). Dos países considerados, em média para 2018, Dinamarca e Suécia têm a maior classificação de turbina e diâmetros de rotor, enquanto o Reino Unido teve o menor diâmetro do rotor.

A média ponderada global do LCOE de projetos de energia eólica *onshore* em 2019 foi 0,053 USD / kWh, menos 9% do que em 2018 e 39% a menos que em 2010, que era de US \$ 0,086 / kWh enquanto que para projetos *offshore* houve um ligeiro declínio 1% na média ponderada global. Isso leva o declínio no LCOE da energia eólica *offshore* entre 2010 e 2019 a 29%, de 0,162 USD / kWh a 0,115 USD / kWh (IRENA, 2020). O gráfico da Figura 8 apresenta a variação do custo médio total instalado, do fator de capacidade e LCOE para energia eólica *onshore* entre 2010 e 2019

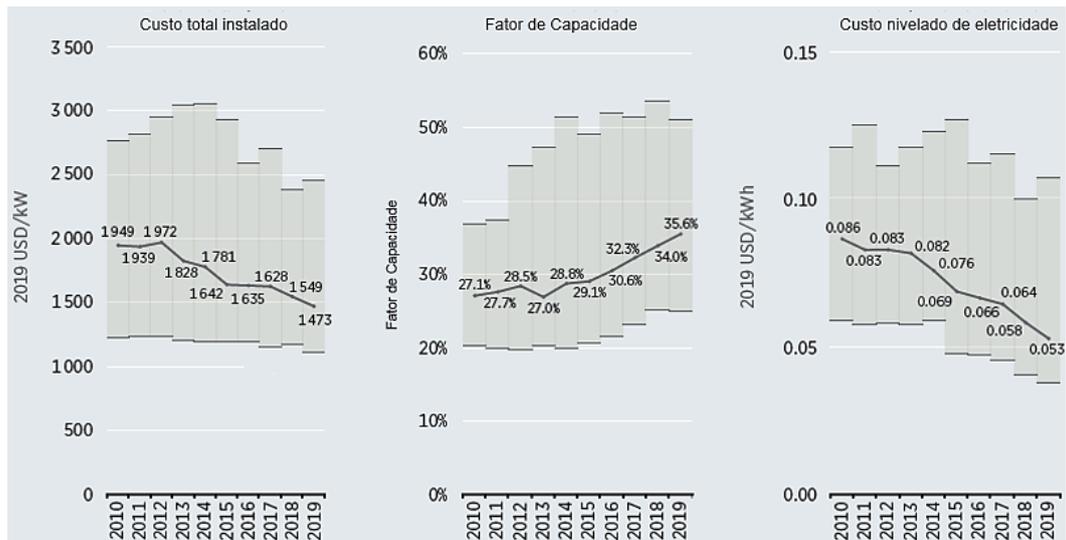


Figura 8: Custo médio total instalado, fator de capacidade e LCOE para energia eólica *onshore* entre 2010 e 2019

Fonte: Adaptado de IRENA (2020)

2.2 Planejamento energético

O rápido desenvolvimento econômico e crescimento demográfico têm levado a uma exploração massiva dos recursos naturais provocando além da poluição ambiental, desflorestamentos e desertificações. O ser humano vem sempre buscando formas de satisfazer as suas necessidades energéticas nos mais variados setores, residencial, comercial, industrial, de transportes e serviços públicos.

Para que o sistema energético opere em harmonia com o meio ambiente, torna-se necessário o planejamento energético, visto que, a energia está relacionada com todos os setores de produção e, por conseguinte, as decisões tomadas no setor energético produzem efeitos nos diversos domínios de um país ou uma região (VIANA, 2004).

De acordo com Scari (2011), o planejamento elétrico e energético tem como objetivo principal fornecer informações e dados para que os diretores e gestores possam tomar decisões de curto, médio e longo prazo, servindo como ferramenta de auxílio às tomadas de decisão sobre o atendimento das demandas energéticas da população tanto urbana como rural.

Silva e Bermann (2002), em seu trabalho sobre o planejamento energético como ferramenta de auxílio às tomadas de decisão sobre a oferta de energia na zona rural, sublinham a elevada importância do planejamento energético.

“Pelo lado da oferta de energia, ele permite identificar as fontes energéticas mais adequadas em termos tecnológico, econômico, social e ambiental para atender as demandas da sociedade. Pelo lado da

demanda, ele permite identificar as tecnologias de uso final capazes de tornar mais eficiente e racional o uso das fontes de energia” (SILVA e BERMAN, 2002: p.2).

De acordo com Bajay (2003), a atividade de planejamento favorece, por um lado, um suporte quantitativo na formulação das políticas energéticas do governo e, por outro lado, ela mostra à sociedade metas de curto, médio e longo prazos, que ultrapassam em geral o mandato do governo e fornecem elementos essenciais para uma boa execução da atividade de regulação. Portanto, uma estrutura organizacional eficaz para a execução dos exercícios de planejamento deve contemplar estas duas características.

O conceito do desenvolvimento sustentável veio reforçar a importância do planejamento energético, levando em consideração que a utilização dessa ferramenta pode evitar a rápida degradação dos recursos energéticos não renováveis e apresentar soluções de substituição de fontes de energia, garantindo a oferta necessária à manutenção do desenvolvimento sustentável da sociedade. Diante disso, o planejamento energético torna-se um instrumento necessário para dar suporte, não apenas nas tomadas de decisão, mas também na elaboração de políticas energéticas sustentáveis (VIANA, 2004).

Ferreira (2016) apresentou as fases de operação de um planejamento energético que surgiu da necessidade de descrever metodologias de forma a responder a determinadas imposições ou cenários previamente estabelecidos na vertente do planejamento. A Figura 9 apresenta o esquema das diferentes fases de operação de um planejamento.

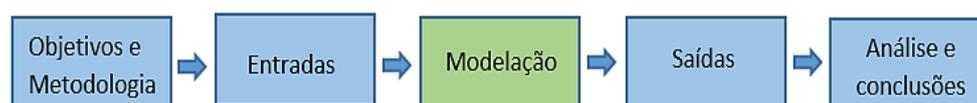


Figura 9: Fases de operação de um Planejamento Energético.
Fonte: Adaptado de FERREIRA (2016)

A primeira fase consiste em analisar o problema e o que se pretende no estudo do planejamento, a metodologia a ser seguida de acordo com o objetivo do estudo. Em seguida vem a determinação e tratamento dos dados e parâmetros de entrada sempre adotando a metodologia pretendida. A modelação consiste no tratamento das informações para que possa ser introduzido no *software* escolhido como ferramenta de análise. Os resultados da modelação no *software* passam por uma análise de forma a definir as estratégias e planos de ação a serem seguidos (CELESTINO, 2014).

2.2.1 Modelos de sistemas de energia

Os modelos de sistemas de energia permitem analisar e representar de forma integrada e estruturada os sistemas energéticos reais. Podem incluir diferentes cenários, nos quais se estabelecem suposições ou objetivos futuros, de forma a avançar em uma linha de desenvolvimento sustentável (FERREIRA, 2016).

O objetivo dos modelos é tentar projetar mediante o estudo das interações entre diferentes setores e cenários os impactos possíveis no futuro desses mesmos setores, da sociedade e das políticas públicas, auxiliando na procura e análise de soluções (POLIQUEZI NETO, 2013).

Existem dois modelos mais comuns para analisar as relações entre o sistema energético e a economia que são, os modelos *top-down* e *bottom-up*. O “*top*” é a abreviatura para agregados e o “*bottom*” é a abreviatura para desagregados.

Modelos *top-down* analisam sistema a partir de variáveis econômicas agregadas, enquanto modelos *bottom-up* consideram opções tecnológicas ou políticas específicas de mitigação de mudanças climáticas. As diferenças entre seus resultados estão na interação complexa entre as diferenças de propósito, estrutura do modelo e premissas de entrada.

As principais características e diferenças entre os modelos *top-down* e *bottom-up* são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: diferenças entre os modelos *top-down* e *bottom-up*.

Modelo <i>top-down</i>	Modelo <i>bottom-up</i>
Usa uma abordagem econômica	Usa uma abordagem de engenharia
Não é possível representar explicitamente as tecnologias	Permite a descrição detalhada das tecnologias
Reflete tecnologias disponíveis adotadas pelo mercado	Reflete o potencial técnico
Usa dados agregados para fins de previsão	Usa dados desagregados para fins de exploração
Com base no comportamento de mercado observado	Independente do comportamento de mercado observado
Determina a demanda de energia por meio de índices econômicos agregados (PIB, elasticidades de preço)	Representa tecnologias de abastecimento em detalhes usando dados desagregados
Não pressupõe discontinuidades nas tendências históricas	Pressupõe que as interações entre o setor de energia e outros setores é insignificante

Fonte: Adaptado de VAN BEECK, 1999 *apud* NAKATA, 2004

Na Tabela 3 é apresentada de forma discriminada as sete principais características para diversos modelos de energia de acordo com Nicole van Beeck (1999, *apud* FERREIRA, 2016, p. 11).

Tabela 3: Classificação dos modelos energéticos

Modelos de energia	Fundadores	Objetivos	Estrutura do modelo	Abordagem analítica	Cobertura geográfica	Horizonte temporal
LEAP	Energy Systems Research Group 1980	Prever o futuro Analisar cenários	Procura: Descrição de todos os setores da economia Oferta: Descrição simples das tecnologias de uso final	Demanda: <i>top-down</i> Oferta: <i>bottom-up</i>	Global Regional Nacional Local	Médio ou longo prazo
MARKAL	IEA ETSAP 1978	Analisar cenários	Recai apenas sobre o setor de energia Descrição detalhada das tecnologias de energia de uso final	<i>Bottom-up</i>	Nacional Local	Médio ou longo prazo
PRIMES	National Technical University (Atenas 1994)	Prever o futuro Analisar cenários	Não disponível	Não disponível	Regional Nacional Local	Médio ou longo prazo
EnergyPLAN	Tokyo Energy Analysis Group (Japan 1999)	Prever o futuro Analisar cenários (depende do modo)	Depende do modo	<i>Top-down</i>	Nacional	Curto ou médio prazo
EMPEP-BALANCE	International Atomic Energy Agency (Austria 1999)	Prever o futuro Analisar cenários	Procura: Descrição de todos os setores da economia Oferta: Descrição simples das tecnologias de uso final	Demanda: <i>top-down</i> Oferta: <i>bottom-up</i>	Nacional Local	Curto, médio ou longo prazo
MESSAGE	International Institute for Applied System Analysis (Austria 1980)	Analisar cenários	Descrição detalhada dos usos finais de energia tecnologias de energia	<i>Bottom-up</i>	Nacional Local	Curto, médio ou longo prazo
EFOM-ENV	European Commission (Belgium 1970)	Analisar cenários	Nenhuma interação entre os setores de energia Descrição detalhada das tecnologias de uso final	<i>Bottom-up</i>	Nacional	Médio ou longo prazo
MESAP	IER, University of Stuttgart (Germany 1997)	Prever o futuro Analisar cenários	Depende do módulo	Demanda: <i>top-down</i> Oferta: <i>bottom-up</i>	Nacional Local	Médio ou longo prazo
MICRO-MELODIE	CEA (France)	Analisar cenários	Analisa vários setores apenas com uma descrição das tecnologias convencionais de energia (em particular para cada setor)	<i>Top-down</i>	Nacional	Médio ou longo prazo
RETScreen	CEDRL Natural Resources (Canada 1996)	Analisar cenários	Descrição detalhada dos usos finais de energia tecnologias de energia	<i>Top-down</i>	Nacional Local	Não disponível
MAED	International Atomic Energy Agency (Austria)	Prever o futuro Analisar cenários	Procura: Descrição de todos os setores da economia Oferta: Descrição simples das tecnologias de uso final (renováveis)	Demanda: <i>top-down</i> Oferta: <i>bottom-up</i>	Regional Nacional	Médio ou longo prazo

Fonte: Adaptado de VAN BEECK, 1999 apud FERREIRA, 2016

Nesse estudo foi utilizado o software LEAP, por ser baseado em um modelo econométrico e contábil do tipo *bottom-up* e que possui a capacidade de criar diferentes sistemas energéticos a partir de diferentes metodologias de modelos. O LEAP delinea o consumo de energia, produção e extração de recursos em todos os setores da economia criando e analisando diferentes cenários. A caracterização do modelo LEAP é apresentado com maiores detalhes no capítulo 4.

2.2.2 Análise de viabilidade econômica

A análise da viabilidade econômica de investimento em alternativas e projetos de economia e uso eficiente da energia é de extrema importância para contribuir na decisão sobre a escolha entre duas alternativas mutuamente excludentes, ou conhecer a economicidade de uma dada alternativa. Esta análise, em geral, utiliza-se de índices econômicos que permitem traduzir se o investimento é atrativo ou não. Dentre estes índices pode-se destacar o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o tempo de retorno de capital (*Payback*). Para a execução de tais análises procura-se moldar o problema real em uma forma padrão denominada fluxo de caixa, o que permite avaliar economicamente o projeto.

Para representar as receitas e as despesas graficamente e cronologicamente, de forma simplificada, utiliza-se o fluxo de caixa. Esse modelo pode ser representado por setas apontadas para cima, para tudo que for ganho, receita, benefícios e funções do mesmo tipo. Em contrapartida tudo que se refere a despesas, gastos, custos, investimentos é representado por seta para baixo (ELEKTRO, 2012).

O VPL fornece o ganho monetário que poderá ser obtido na realização de um investimento a uma dada taxa de juros (OLIVEIRA, 2008). O VPL pode ser calculado a partir da Equação 1.

$$VPL = -C_{iv} + \sum \frac{FCt}{(1+i)^t} \quad (1)$$

Em que:

C_{iv} = Custo de investimento;

FC = Fluxo de caixa do período t;

i = Taxa de desconto em %;

t = Número de períodos em que foi determinado o fluxo de caixa;

O resultado do VPL pode resultar em três situações de análise diferentes:

a) $VPL > 0$, o projeto é economicamente viável.

b) $VPL = 0$, não haverá retorno do investimento nem terá despesas sobre o capital investido.

c) $VPL < 0$, o projeto não é economicamente viável, pois os custos serão maiores ao longo do tempo.

A TIR pode ser considerada como a taxa de desconto que, em um determinado momento do tempo, se iguala o valor presente das entradas (recebimentos) com o das saídas (pagamentos) do fluxo de caixa (ASSAF NETO, 2009). A TIR é determinada a partir da Equação 2.

$$0 = -C_{iv} + \sum \frac{Fct}{(1+TIR)^t} \quad (2)$$

Onde:

TIR = Taxa Interna de Retorno

A TIR deve ser comparada com uma taxa de rentabilidade mínima exigida em face ao risco do projeto. Essa taxa mínima poderá também corresponder ao custo de capital da empresa. A TIR, portanto, pode ser comparada a Taxa Mínima de Atratividade-TMA. O investimento é considerado economicamente viável quando apresenta uma TIR maior do que a TMA.

O payback pode ser definido como o tempo correspondente para que os fluxos de caixa positivos superem os fluxos negativos, comumente representado em anos (SILVA, 2010).

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo é apresentado o enquadramento geográfico de Cabo verde, mostrando as suas particularidades e a caracterização do setor elétrico e energético, apresentando de forma sucinta a sua estruturação e os principais desafios que esses setores enfrentam face a escassez de recursos.

Também foi elaborado uma revisão sobre as energias renováveis, apresentando as Zonas de Desenvolvimento de Energias Renováveis – ZDER que são os possíveis lugares com potencial para instalação de projetos de energias renováveis nomeadamente o recurso solar, eólico, oceânico, geotérmico, o potencial de hidroelétrica reversível e os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), apresentados no Plano Estratégico Setorial das Energias Renováveis (PESER, 2012).

3.1 Enquadramento geográfico

Cabo Verde é um país insular localizado no Oceano Atlântico a cerca de 450 quilómetros da costa Ocidental da África. O arquipélago é composto por dez ilhas e oito ilhéus, sendo nove habitada e uma desabitada. (CABO VERDE, 2019).

O Arquipélago de Cabo Verde faz parte da Macaronésia, vasta região do Oceano Atlântico, constituída por cinco grupos de ilhas situadas ao largo da costa do sudoeste Europeu.

O país apresenta uma superfície total de 4.033 km² e situado a 450 km da Costa do Senegal, entre os 14°23' e 17°12' de latitude Norte e 22°40' e 25°22' de longitude Oeste (MONTEIRO, 2012).

As ilhas se distribuem em dois grupos e dispostos em relação a direção do vento alísio do Nordeste. Ao Norte ficam as ilhas de Barlavento formadas pelas ilhas de Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia (desabitada), São Nicolau, Sal e Boa Vista. No Sul situam as ilhas de Barlavento formadas pelas ilhas de Maio, Santiago, Fogo e Brava (FERREIRA, 1997). Sendo Santiago a maior ilha e concentra cerca de 50% da população local. Ocupa uma área de 4.033 Km² e a sua população é de aproximadamente 542 330 habitantes (CABO VERDE, 2019). A Figura 10 apresenta o mapa de Localização geográfica de Cabo Verde.

As chuvas são de carácter torrencial, particularmente nas ilhas de relevo acentuado e a pluviometria em cada ilha está sob dependência da altitude, do relevo e da exposição aos ventos (MECC, 2005)

De acordo com o Programa da Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, Cabo Verde ocupa a posição 125º (centésimo vigésimo quinto), no índice de desenvolvimento humano com valor de 0,654, superior à média do grupo dos países de desenvolvimento humano médio e dos países da África subsaariana (PNUD, 2018).

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.

3.2 Setor energético

O setor energético constitui um dos setores estratégicos em qualquer plano ou programa de desenvolvimento sustentável. Principalmente em países que apresentam uma economia frágil e dependente de mercados externos, como é o caso de Cabo Verde.

País extremamente carente de fontes primárias, o custo resultante da importação de combustíveis absorve uma boa parte de recursos financeiros que podiam ser direcionados para investimentos em outros setores.

De acordo com Ambientecplp (2019), Cabo Verde é um país ambientalmente frágil e de fracos recursos naturais. O arquipélago não possui recursos minerais que possam contribuir para o desenvolvimento de atividades industriais.

O setor energético de Cabo Verde é influenciado principalmente por dois grandes fatores: a sua condição geográfica, devido a insularidade das ilhas e a falta de recursos energéticos naturais de origem fóssil em quantidades significativas, que coloca o país mais vulnerável frente às variações do mercado internacional dos derivados do petróleo (SABINO, 2016).

Enquanto arquipélago, o país não beneficia de economia de escala, necessitando cada ilha das mesmas soluções em termos de infraestruturas.

A pesca é uma das principais atividades económicas da qual provêm produtos para exportação mas, em pequena escala. Já as outras atividades económicas como a agricultura, servem apenas para suprir o consumo da população do país.

Para garantir o fornecimento de água potável, recorre ao uso de centrais dessalinizadoras, que por sua vez exige um processo energético intenso onde ocorrem perdas consideráveis.

Em Cabo Verde, as reservas naturais de água são escassas e a estação chuvosa dura apenas três meses por ano. O governo aposta fortemente na dessalinização da água do mar para o abastecimento da água potável (DEUTSCHE WELLE, 2017). A Figura 11 mostra Central de dessalinização de água na cidade da Praia.



Figura 11: Central de dessalinização de água na cidade da Praia
Fonte: DEUTSCHE WELLE (2017)

De acordo com o Boletim Oficial da República de Cabo Verde N° 16 (2018), a tutela do Setor Energético é exercida pelo Ministério da Indústria Comércio e Energia (MICE), que segundo o Decreto –Lei n° 14/2018 detém a competência para:

Prosseguir atribuições nos domínios da política e das infraestruturas industriais, energéticas e comerciais, da proteção da propriedade intelectual, em matéria de propriedade industrial do sistema e rede do comércio, das energias renováveis, da dessalinização e da qualidade.

O abastecimento de combustíveis petrolíferos é garantido por duas empresas: a Shell Cabo Verde, filial da multinacional Royal Dutch Shell e a Enacol empresa privada com participação do Estado, da companhia Angolana Sonangol e da Portuguesa GALP energia que exercem, mediante convenções de estabelecimento, as atividades de importação, armazenamento, distribuição e venda de derivados do petróleo (DGIE et al., 2005).

A regulação dos preços dos produtos petrolíferos é assegurada pela Agência Reguladora Multissetorial da Economia – ARME, estando praticamente dependentes da evolução do preço dos combustíveis fósseis.

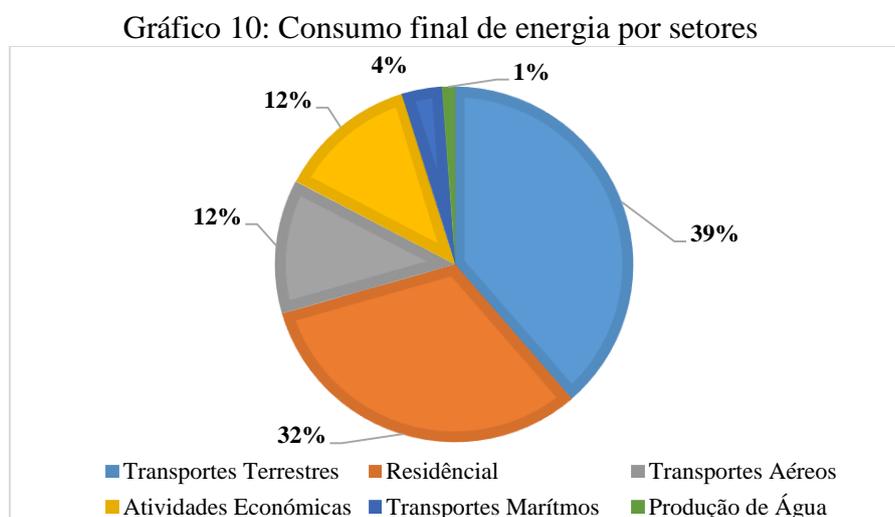
O setor energético é caracterizado pelo consumo de combustíveis fósseis (derivados do petróleo), biomassa (lenha) e utilização de energias renováveis, nomeadamente a energia eólica e solar.

Os combustíveis fósseis são as principais fontes de energia utilizada e são constituídos pelos derivados do petróleo como a gasolina, o gasóleo, o óleo combustível, o Jet A1, o gás butano e lubrificantes, todos produtos refinados e logo transformados em energia secundária (CARDOSO, 2011).

De acordo com Sabino (2018), devido à insularidade das ilhas, as empresas responsáveis pela distribuição de combustíveis contam com uma grande rede de redistribuição por todo o território, cada ilha possui um sistema próprio com características próprias de oferta e demanda, onde o consumo dos derivados do petróleo segue um complexo sistema de importação e redistribuição.

A Biomassa provenientes da cobertura vegetal original do País, é escassa e a sua disponibilidade tem-se degradado rapidamente devido a secas prolongadas. Entretanto existe um potencial em energia lenhosa proveniente das florestas artificiais plantadas no âmbito de programas de reflorestações levados a cabo de 1975 a esta parte pelo Estado de Cabo Verde (MECC, 2005).

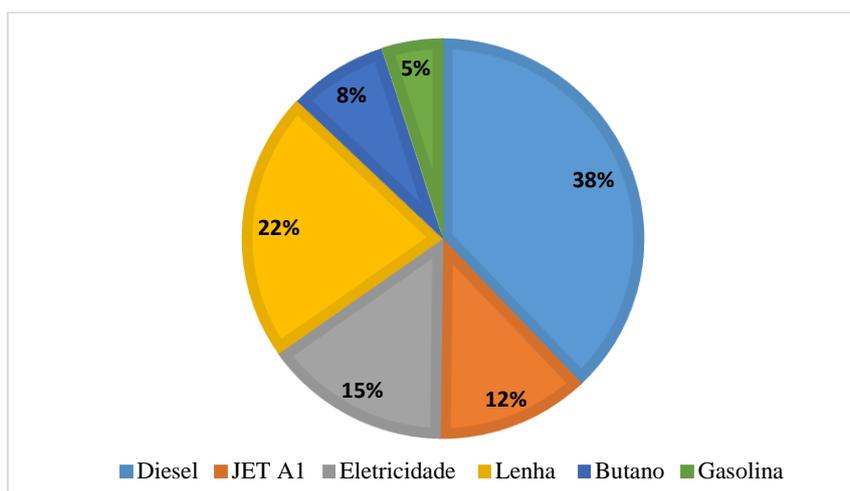
De acordo com o Plano Nacional de Ação para Eficiência Energética – PNAEE (2015), em 2013 o setor dos transportes correspondeu pelo maior consumo de energia no país representando um valor de 55% da energia total consumida, seguido pelo setor residencial que também demonstrou um percentual significativo de 32%. As atividades econômicas e produtivas foram responsáveis por apenas 12% do consumo final. O Gráfico 10 representa a repartição do consumo final de energia por setores.



Fonte: Adaptado de PNAEE (2015)

Em termos de usos finais de energia, a lenha e o diesel foram responsáveis por mais de metade da energia final consumida, enquanto a eletricidade representou cerca de 15% da demanda de energia final. O Gráfico 11 representa o consumo de energia final por fonte em Cabo verde.

Gráfico 11: Consumo final de energia por fonte.



Fonte: Adaptado de PNAEE (2015)

A visão do governo de Cabo Verde para o setor energético, expressa no Documento de Política Energética de Cabo Verde (MECC, 2008) tem por objetivo construir um setor energético seguro, eficiente, sustentável e sem dependência de combustível fóssil e está baseada em 4 pilares essenciais:

1) Segurança energética e redução da dependência das importações: Garantir redução da dependência das importações de energia e facilitar o acesso contínuo ao fornecimento de energia, não obstante as incertezas e imprevisibilidades do mercado mundial.

2) Aposta nas energias renováveis: Investir e adotar tecnologias de energias renováveis e alternativas, com a consequente redução da dependência da importação de combustíveis.

3) Sustentabilidade do setor: Garantir a sustentabilidade do setor energético do ponto de vista ambiental, sociopolítico e económico.

4) Eficiência no fornecimento, distribuição e consumo: Garantir um sistema de fornecimento, distribuição e consumo de energia adequado e eficiente em todo o país.

3.2.1 Políticas energéticas nacionais

Existem no panorama nacional várias medidas de planejamento energético, resultado da grande necessidade de melhoria da eficiência e do uso racional da energia.

A estratégia do governo é construir um país sem dependência de combustíveis fósseis por meio da promoção de eficiência nos setores energéticos e mudanças comportamentais, com ênfase no aumento da penetração das fontes de energias renováveis.

Com isso as principais políticas energéticas incluem o aumento da produção energética a partir de fontes alternativas, de forma a diminuir a dependência dos mercados externos, a promoção da conservação de energia e da eficiência energética do setor energético, a expansão da capacidade de produção da energia elétrica, a promoção de investigação e adoção de novas tecnologias, etc.

Em 2015 o Governo apresentou o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) que integra uma tríade de documentos de política pública, que inclui adicionalmente o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e a Agenda de Ação para a Energia Sustentável para Todos (AA SE4ALL). O PNAER contém um conjunto de ações, metas, estratégias e metodologias para a promoção da sustentabilidade do setor energético.

3.3 Setor elétrico

A disponibilidade energética, o acesso e o consumo eficiente de energia constituem condições essenciais para o desenvolvimento económico e social de um país, principalmente de um país insular como Cabo Verde, que depende na sua maioria dos produtos petrolíferos importados para suprir todas as necessidades energéticas da sua população (INE, 2017).

A grande dependência face aos combustíveis de origem fóssil é uma das principais dificuldades sentidas no setor elétrico de Cabo Verde. Para garantir o fornecimento de água potável, recorre-se ao uso de centrais de dessalinização, que por sua vez exige um processo energético intenso.

Segundo Cabo Verde (2005), existem excelentes condições para o aproveitamento de energias renováveis para a produção de eletricidade, nomeadamente a energia eólica e solar. O vento é regular, predominantemente de Nordeste e a velocidade média anual situa em torno de 7 a 10 m/s. O nível de insolação média diária é de 5 kWh/m², mas a participação destas fontes na matriz energética continua ainda muito reduzida.

O Sistema Elétrico Nacional, SEN, é dividido em sistemas de produção e distribuição, e é controlado pela companhia distribuidora e produtora de energia em Cabo Verde, a Electra S.A.R.L., sendo as atividades operacionais das ilhas da região Sul (Sotavento) da responsabilidade da divisão Electra Sul (BARRUNCHO, 2016).

De acordo com a Agenda de Ação para a Energia Sustentável para Todos (2015), a ELECTRA SA tem desde 2000, a concessão da rede de distribuição e opera as maiores centrais de produção. Com exceção da ilha da Boavista onde a empresa público-privada Águas e Energia de Boavista (AEB) é subconcessionária do serviço público e na ilha do Sal que opera, em regime de produtor independente, a empresa Águas de Ponta Preta (APP).

As tarifas de energia elétrica são fixadas pela ARME. A ARME fixou em 2019 novas tarifas de eletricidade e Água para Electra e AEB, que entrou em vigor a partir do dia 20 de setembro de 2019 (ARME, 2020). As tarifas de eletricidade da Electra e AEB são apresentadas nas Tabelas 4 e 5 em Escudos de Cabo Verde - ECV.

Tabela 4: Tarifa de eletricidade Electra

Tarifa de Eletricidade Electra, S.A.R.L		
Escalões	Tarifa Ant c/IVA (mar-19) (ECV) *	Tarifa c/IVA (mar-19) (ECV) *
Baixa Tensão Doméstica		
<=60kWh/mês	28,30	24,14
>60kWh/mês	36,19	32,03
Baixa Tensão Especial	31,76	27,60
Média Tensão	26,79	22,63
Iluminação Pública	28,30	24,14
** Produção de água s/IVA	23,62	20,00

*1 USD = 93,199 ECV (cotação do dia 14/07/2021 de acordo com o Banco de Cabo Verde)

**tarifa sem IVA

Fonte: Elaboração própria a partir de ARME (2020)

Tabela 5: Tarifa de eletricidade AEB

Tarifa de Eletricidade AEB		
Escalões	Tarifa Ant c/IVA (mar-19) (ECV) *	Tarifa c/IVA (mar-19) (ECV) *
Baixa Tensão Doméstica		
<=60kWh/mês	31,85	28,43
>60kWh/mês	39,74	36,32
Baixa Tensão Especial	35,31	31,90
Média Tensão	30,35	26,93
Iluminação Pública	31,85	28,43

Fonte: Elaboração própria a partir de ARME (2020)

O Decreto-Lei 37/2018 estabelece as disposições para a implementação de tarifa social de fornecimento de energia elétrica explicitando os níveis de desconto a conceder

e os critérios para a seleção dos beneficiários. A primeira condição é estar inscrito no Cadastro Social Único das câmaras municipais, com um nível de renda anual *per capita* menor ou igual a seis salários mínimos nacional que é de 11 mil ECV.

A tarifa social é calculada mediante a concepção de um desconto sobre a tarifa de baixa tensão aplicando o modo cumulativo conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Descontos tarifa social

Consumo	Desconto
<= 30kWh/mês	30%
Entre 31 e 60 kWh/mês	20%
Entre 61 e 90 kWh/mês	10%
>= 90kWh/mês	Normal

Fonte: Elaboração própria a partir de Cabo Verde (2018)

O gráfico da Figura 12 mostra a evolução anual de produção de energia elétrica por ilha em MWh, nas ilhas onde a Electra SA detém a concessão da rede de distribuição e operação.

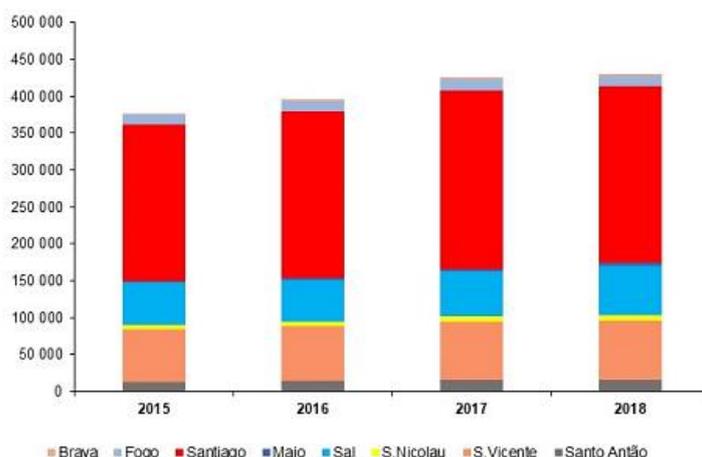


Figura 12: Evolução anual de produção de energia elétrica por ilha (MWh)

Fonte: ELECTRA SA (2019)

Segundo o INE (2018), em 2017, cerca de 83,1% da energia elétrica produzida no país foi de origem térmica, representando um aumento de 13,0% em relação a 2016, como apresentado no gráfico da Figura 13.

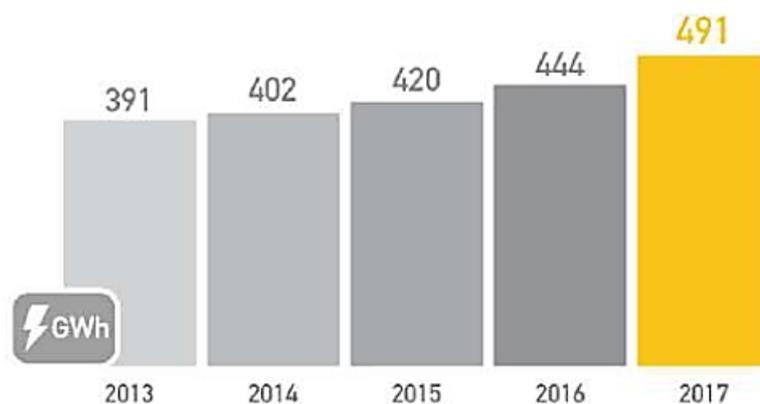


Figura 13: Total da produção de energia elétrica em Cabo Verde (2013 - 2017)

Fonte: INE (2018)

De acordo os dados mais atualizados do MICE, em 2019 a produção total de energia elétrica no país foi de 507 GWh, sendo 414 GWh oriundas de centrais termoelétricas e 93 GWh produzidas a partir de fontes renováveis de energia, levando a uma taxa de penetração da energias renováveis de 18,4%, apresentando uma queda 2% em relação ao ano de 2018. Essas fontes renováveis são de origem eólica e solar. A Tabela 7 mostra a produção de energia elétrica por fonte no ano de 2019.

Tabela 7: Produção de energia elétrica por fonte no país

	Produção Térmica (GWh)	Produção Renovável (GWh)	Total de Produção (GWh)	Taxa de Penetração de ER (%)
Cabo Verde	414	93	507	18,4
Santo Antão	15,9	1,5	17,3	8,6
São Vicente	58,4	21,6	80,0	27,0
São Nicolau	7,0	0,0	7,0	0,0
Sal	66,6	25,4	92,0	27,6
Boavista	37,2	8,3	45,5	18,3
Maio	3,80	0,0	3,8	0,0
Santiago	208,0	37,0	244,0	15,0
Fogo	14,3	0,0	14,3	0,0
Brava	2,9	0,0	2,9	0,0

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de MICE (2020)

A maior parte da população cabo-verdiana, ou seja 90,1%, já tem acesso à eletricidade, segundo os dados do INE, (2018), publicados na cidade da Praia. De acordo com o World Bank (2019) esse valor encontra-se muito acima da média dos países africanos que é de 42%, assim como da média dos países em desenvolvimento 87%. O gráfico da Figura 14 mostra a evolução do acesso a eletricidade no país nos últimos anos.

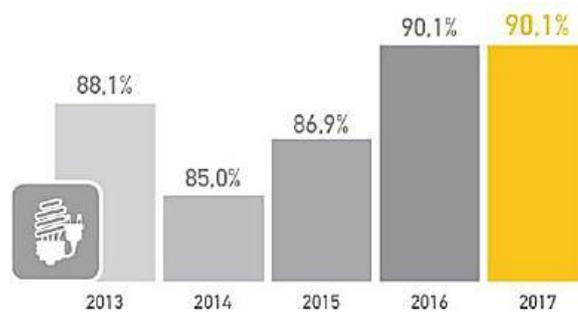


Figura 14: Percentagem de população com acesso à energia elétrica (2013 - 2017)
Fonte: INE (2018)

Contudo, em 2017, cerca de 92% da população no meio urbano teve acesso a energia elétrica, enquanto no meio rural 85,7% da população afirmaram ter acesso à energia elétrica. A Tabela 8 apresentado a seguir mostra a evolução da percentagem da população urbana e rural com acesso à energia elétrica de 2013 a 2017.

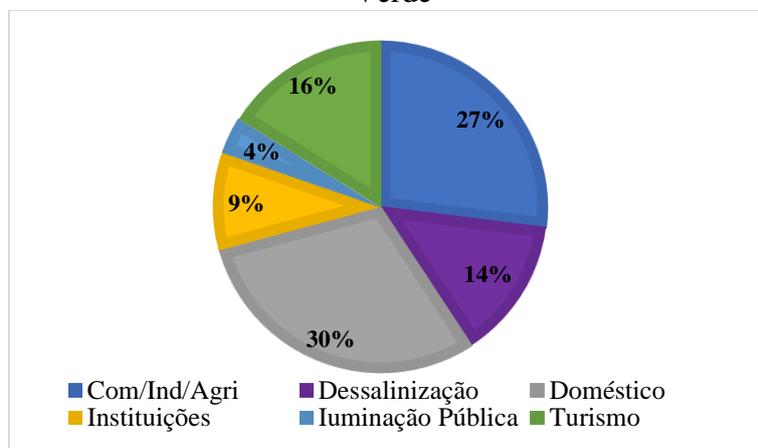
Tabela 8: Percentagem da população urbana e rural com acesso à energia elétrica

	2013	2014	2015	2016	2017
Cabo Verde	88,1	85,0	86,9	90,1	90,1
Urbano	91,8	88,7	90,6	93,5	92,3
Rural	81,2	77,8	79,6	83,4	85,7

Fonte: Adaptado de INE (2018)

De acordo com os dados do MICE (2020), no que diz respeito ao consumo da energia elétrica nos diversos setores nas ilhas, o consumo a nível doméstico de baixa tensão tem mostrado maior destaque, representando cerca de 30% do consumo total, enquanto as indústrias, agricultura e comércio representam a outra grande parcela do consumo, aproximadamente 27% do total, como pode ser observado no Gráfico 12.

Gráfico 12: Distribuição percentual do consumo de energia elétrica por setor em Cabo Verde



Fonte: MICE (2020)

3.4 Energias renováveis em Cabo Verde

Os investimentos em energias renováveis são considerados estruturante para o desenvolvimento do país, de forma garantir a sustentabilidade e se aproximar da meta de acesso universal à energia.

O Plano Estratégico Sectorial das Energias Renováveis (PESER) estabelece as Zonas de Desenvolvimento de Energias Renováveis (ZDER) em que é admissível a localização de Centros Electroprodutores.

Estas zonas servem para acolher projetos com recurso à energia solar, eólica, hídrica, geotérmica, marítima e de resíduos sólidos urbanos – RSU e poderá servir de catalisador para o desenvolvimento de projetos na área das energias renováveis.

Foi estimado um potencial de energia renovável de 2610 MW, sendo com maior potencia a fonte solar com potencial em torno de 2068 MW, o mais econômico a eólica com potencial estimado em 306 MW com viabilidade técnica, tendo sido estudados mais de 650 MW em projetos considerados Zonas de Desenvolvimento de Energias Renováveis (ZDER). No que diz respeito às outras fontes foram estimadas um total de aproximadamente 235 MW (MTIE, 2011). O gráfico da Figura 15 mostra o potencial de energia renovável por tecnologia em Cabo Verde.

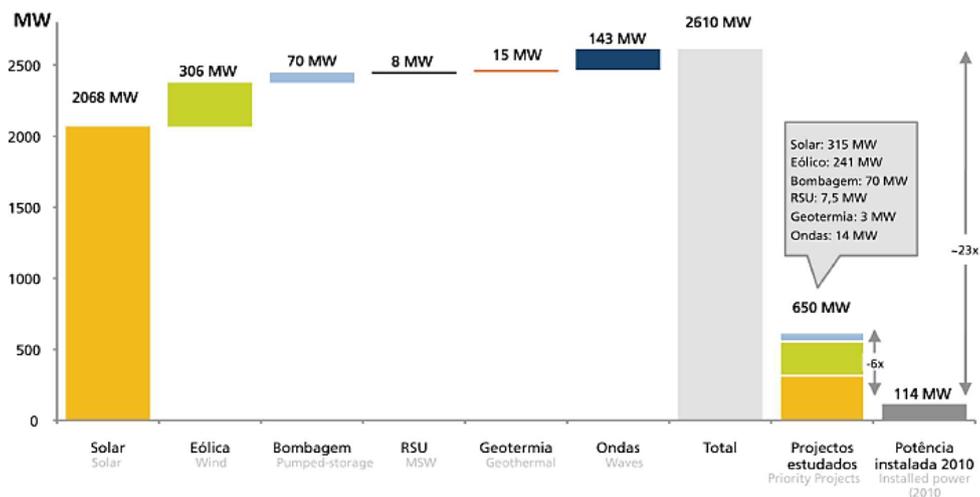


Figura 15: Potencial renovável por tecnologia em Cabo Verde

Fonte: MTIE (2011)

Pode ser observado que o país apresenta grandes potenciais de energia solar e eólica mas, também um vasto potencial de energia dos oceanos (marés, ondas, etc.), pelo fato de ser um país insular. Atualmente não existem muitos estudos no desenvolvimento dessas tecnologias o que torna os custos de instalação pouco competitivo para o país.

3.4.1 Energia solar

A energia solar atualmente, apresenta-se em escala mundial, como uma fonte de energia renovável, não poluente, permitindo a sua utilização como fonte de calor ou Luz. Face à localização geográfica, Cabo Verde apresenta temperatura média anual de 25 °C e uma taxa de insolação superior a 3750 h/ano (PEREIRA, 2015).

O potencial do recurso solar em Cabo Verde foi analisado para todas as Zonas de Desenvolvimento de Energias Renováveis (ZDER) associadas ao recurso solar e determinadas com base nas condicionantes e no potencial mapeado. Este estudo é parte integrante do Plano Energético Renovável de Cabo Verde, para a definição das ZDER e teve como principal objetivo a determinação do potencial da energia solar nas ilhas, permitindo a integração de projetos solares nos cenários propostos no plano.

O resultado da caracterização do recurso solar nas ilhas em estudo consiste do mapeamento da radiação global, que consta da Figura 16.

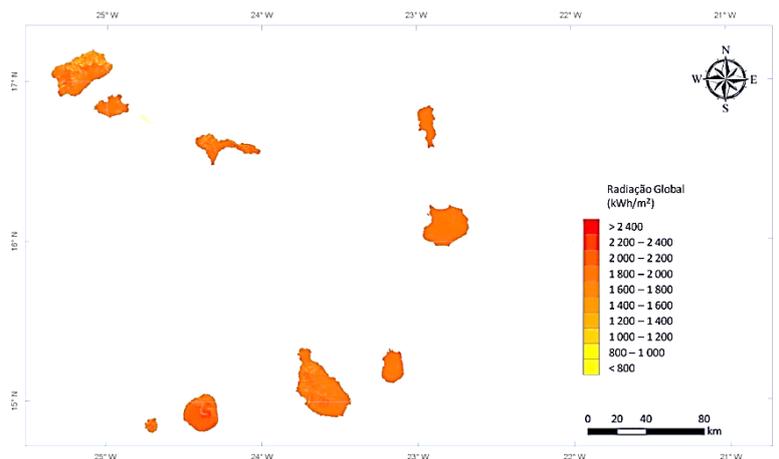


Figura 16: Radiação global nas ilhas em estudo
Fonte: PERCV (2011)

Como resultado do mapeamento do recurso solar verificou-se que Cabo Verde tem um recurso solar abundante. Em termos de média anual, grande parte do território apresenta uma radiação global entre os 1800 e os 2000 kWh/m²/ano, o que pode variar de acordo com a variação do terreno. Mais de metade do território analisado (66%) apresenta radiações anuais nesta ordem de grandeza (PERCV, 2011).

Como resposta ao mapeamento das ZDER foram propostas as seguintes zonas com potencialidades para abrigar projetos de energia solar nas ilhas. No quadro da Figura 17 apresentam-se as zonas, com a indicação das respetivas áreas para o desenvolvimento de projetos solares.

Ilha	ZDER	Projeto	Potência (MW)	Área da ZDER (km ²)
Santiago	ST.8	Achada da Ponta da Bomba	53	1,08
	ST.9	Achada Ribeira Pedro	89	1,78
	ST.10	Achada Bela Costa	73	1,46
São Vicente	SV.6	Salamansa	62	1,24
Santo Antão	SA.4	Porto Novo	176,5	3,54
Fogo	FG.3	Fogo	928,5	18,62
Sal	SL.2	Sal	98,5	1,92
São Nicolau	SN.2	Preguiça	5	0,15
	SN.3	Cacimba	5	0,13
Boa Vista	BV.2	Ervadão	30	0,69
	BV.3	Belmonte	30	0,79
Maio	MA.2	Esgrovere	6	0,13
	MA.3	Barreiro	3	0,07
	MA.4	Alcatraz	3	0,06
Brava	BR.2	Furna	3	0,06

Figura 17: Zonas para Desenvolvimento de Energias Renováveis (recurso solar)
Fonte: CABO VERDE (2012)

As ZDER identificadas apresentam uma capacidade para a instalação de, aproximadamente, 1500 MW estimando-se um potencial de produção de energia anual, na ordem dos 2700 GWh/ano.

3.4.2 Energia eólica

O arquipélago de Cabo Verde é um dos melhores locais para a geração de energia eólica, uma vez que está localizado no cinturão de ventos do nordeste. A energia eólica foi implantada pela primeira vez no país em 1994. Com isso o governo estabeleceu uma meta para gerar 50% de sua energia a partir de fontes de energia renováveis até 2020, e pelo menos uma ilha com 100% de energia renovável. (IRENA, 2016). Metas essas que até então não foram cumpridas inteiramente.

O estudo do recurso eólico em Cabo Verde foi elaborado no âmbito do Plano Energético Renovável, pela RISØ (Laboratório Nacional de Energia Sustentável), utilizando a metodologia KAMM/WAsP (método que combina o modelo de mesoescala atmosférica de Karlsruhe, com o Programa de Análise e Aplicação de Atlas do Vento, WAsP). As medições foram realizadas em quatro ilhas e em cinco localidades diferentes: Selada do Flamengo e Selada de São Pedro na ilha de São Vicente, Monte de São Filipe na ilha de Santiago, Palmeira, na ilha do Sal e Sal-Rei, na ilha da Boavista.

Verifica-se que o arquipélago de Cabo Verde apresenta um recurso excepcional com muitas áreas nas ilhas de Santiago e São Vicente com ventos médios acima dos 8m/s, como pode ser observado na Figura 18.

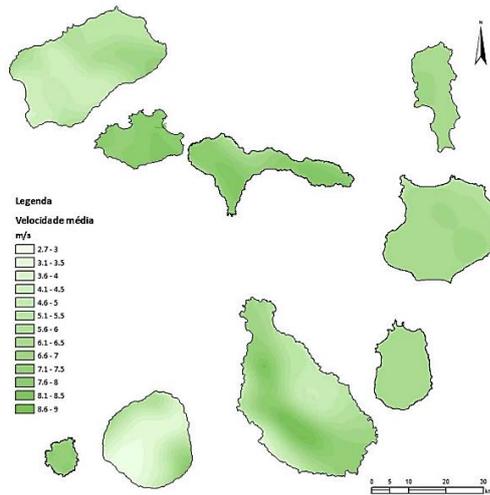


Figura 18: Mapa das velocidades média do vento no arquipélago
 Fonte: PERCV (2011)

De acordo com o relatório a predominância do vento é 90% do Nordeste. Quanto a sazonalidade foram verificados dois períodos diferentes ao longo do ano, nos meses de Janeiro e Junho registam-se ventos com velocidade média elevadas e Julho a Dezembro regista-se uma diminuição significativa das velocidades de vento.

O mapa da Figura 19 mostra a identificação e localização das ZDER para projetos eólicos.

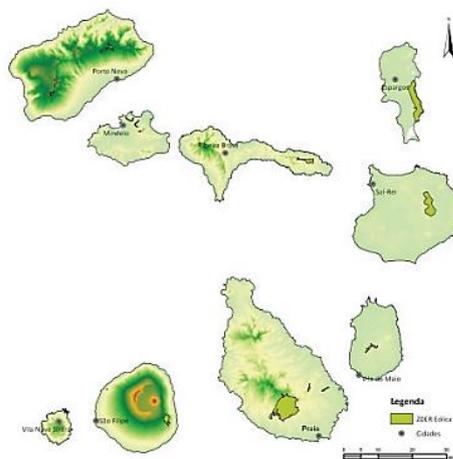


Figura 19: Identificação e Localização das ZDER para projetos eólicos.
 Fonte: Diário da República de Cabo Verde (2012)

As ilhas que apresentam maior potencial para instalações de projetos de aproveitamento de energia eólica foram as ilha de Santiago com um potencial de 109,65 MW, seguida da ilha do Sal apresentando um potencial de 45,9 MW e a ilha de São Vicente com um potencial de 30,4 MW (PERCV, 2011).

De acordo com IRENA (2016), o projeto Cabeólica faz parte da estratégia do governo para o aumento da penetração de energias renováveis no país. Foi um esforço conjunto financiado pelo Banco Europeu de Investimento, o Banco Centro Africano de Desenvolvimento, a Corporação Africana de Finanças, a *Finnfund* e a InfraCo Africa. O Grupo de Desenvolvimento de Infraestrutura Privada forneceu US \$ 170.000 para financiar estudos sobre padrões de vento e engenharia técnica durante a fase de desenvolvimento do projeto.

Em Outubro de 2018, as participações na Cabeólica pertencentes à *Finnfund* foram transferidas para a *Anergi Asset Company*, que assim reforça a sua posição de investidor maioritário, detendo uma participação de 94% na Cabeólica, o restante ficou dividido entre a Electra SA e o Estado de Cabo Verde com 3,75% e 2,25% respetivamente (CABEÓLICA, 2019).

Em 2018 os 4 parques eólicos produziram e entregaram à rede de distribuição de eletricidade um total de 85.154 MWh, tendo superado a produção de 2017 em 12%, evitando a emissão de cerca de 58.000 toneladas de CO₂. Assim, e considerando que até o final do ano contabilizou mais de 530.000 MWh de produção de energia eólica (373.000 toneladas de CO₂ evitados), a quota de incorporação de energia eólica no *mix* de produção de eletricidade nas 4 ilhas passou a ser de 18% em 2018 (CABEÓLICA, 2019). A Figura 20 mostra em números a contribuição da Caboeólica na produção de energia no país.

	Principais Indicadores	2017	2018
Operacional	Capacidade Instalada (MW)	25.5 	25.5 
	Energia Produzida / Disponível (%)	75% 	76% 
	Taxa Penetração Estimada (Cabo Verde)	17% 	18% 
	Velocidade média do vento (m/s)	8.9 	9.4 

Figura 20: Contribuição da Cabeólica na produção de energia
Fonte: CABEÓLICA (2019)

3.4.3 Outros recursos renováveis

De igual modo ao recurso solar e eólico no âmbito da elaboração Plano Energético Renovável de Cabo Verde, também foram analisadas outros recursos renováveis como o recurso marítimo, o recurso geotérmico, o potencial de hidrelétrica reversível e os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

As ondas são um abundante recurso renovável, que já se encontra a ser explorado por alguns países, quer a nível experimental, quer para contribuir efetivamente para a produção nacional, embora que ainda seja muito baixa.

A energia das ondas tem origem direta no efeito dos ventos, os quais são gerados pela radiação solar incidente. Dado que as ondas são produzidas pela ação do vento, esse recurso apresenta irregularidade e variação sazonal. Extrai-se energia do fluido em movimento e de extensão praticamente ilimitada. Contudo, a natureza ondulatória do mar está na origem da maior complexidade de conceção de sistemas de conversão para aproveitamento da energia oceânica (CUNHA, 2017).

Existem diversas formas de se aproveitar as energias dos oceanos para conversão em energia elétrica: a partir das marés, correntes marítimas, gradientes de temperaturas e as ondas.

De acordo com CUSTÓDIO et al (2005), o mar de Cabo Verde é conhecido por apresentar pouca ondulação e ser relativamente calmo principalmente nos meses de seca. Com uma amplitude da maré de aproximadamente 1 m. Na época das chuvas, entre Julho a Outubro, o mar encontra-se mais agitado devido à instabilidade do tempo que está associada à passagem da convergência intertropical. Essa agitação marítima é afetada pela intensidade dos ventos do Nordeste e com velocidade média anual de 10 m/s.

Foram estudadas, para o Arquipélago, as características da ondulação ao longo de onze anos, com base em dados obtidos por meio de modelos meteorológicos mundiais. Foram analisados os dados de direção, período e altura significativa da ondulação. Os resultados obtidos foram utilizados para o cálculo do recurso existente e é apresentado no mapa da Figura 21.

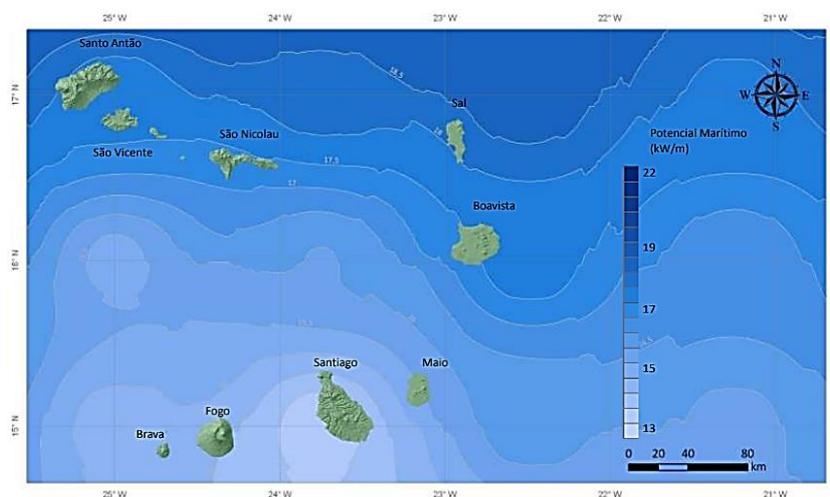


Figura 21: Mapa potencial marítimo
Fonte: MTIE (2011)

Na Figura pode-se observar que a ondulação apresenta uma direção predominante de Nordeste, sendo as ilhas localizadas mais a norte e nordeste, principalmente as ilhas de Santo Antão, São Vicente, Sal e Boavista, aquelas que apresentam maior potencial.

Relativamente ao potencial energético do recurso hídrico primário, a partir do estudo feito concluiu-se que a capacidade de gerar o escoamento necessário à exploração de um aproveitamento hidroelétrico da forma convencional é muito baixa. Contudo, face às características do regime hidrológico do arquipélago, que se caracteriza por uma pluviometria sazonal e torrencial, consideram-se que para além de ser possível também são adequados os aproveitamentos hidroelétricos reversíveis (Diário da República de Cabo Verde, 2011). Como resultado tem-se o mapa que resume do potencial hidrelétrico reversível apresentado na Figura 22.

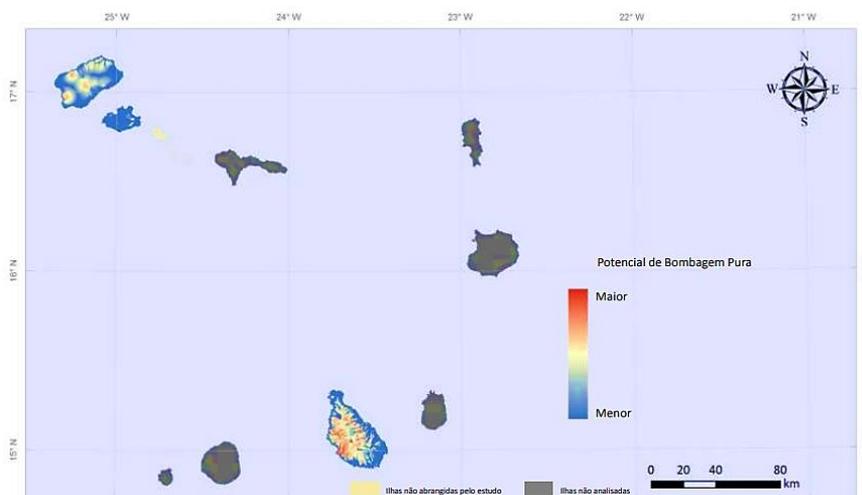


Figura 22: Mapa resumo do potencial hidrelétrico reversível.
Fonte: MTIE (2011)

Pode ser observado no mapa que a maioria das ilhas não apresenta potencial de produção de energia hidroelétrica, devido essencialmente ao reduzido escoamento anual médio e baixos desníveis face ao nível da água do mar. A ilha que apresentou um maior potencial para esse tipo de aproveitamento foi a ilha de Santiago.

O recurso geotérmico existente foi caracterizado utilizando um conjunto de estudos geológicos comuns na avaliação de recursos deste tipo. Desses estudos foi detetada uma zona, localizada na ilha do Fogo, na caldeira do vulcão, que apresenta algumas características possíveis de ser atribuídas a um sistema geotérmico, embora com pouca probabilidade (Diário da República de Cabo Verde, 2011). O mapa do potencial geotérmico é apresentado na Figura 23.

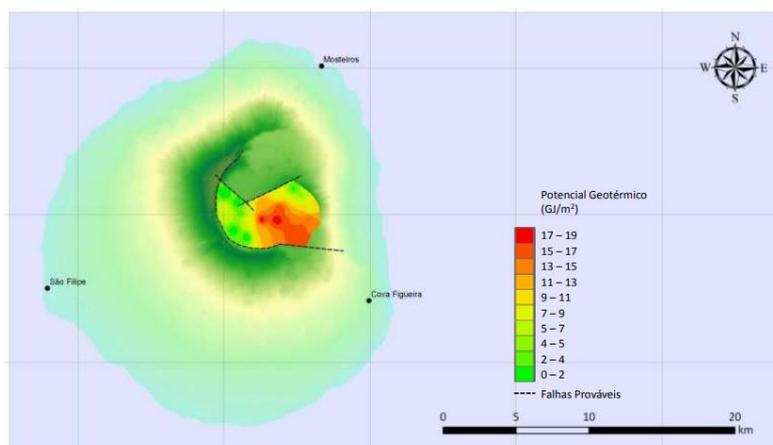


Figura 23: Mapa do potencial geotérmico
 Fonte: MTIE (2011)

A Caldeira, localizada na ilha do Fogo, foi a única identificada com algum potencial para a existência de recursos geotérmicos, e pode ser umas das formas mais competitivas de produzir energia em Cabo Verde.

No que diz respeito ao estudo relacionado a valorização energética de resíduos sólidos urbanos foram identificadas apenas nas ilhas de Santiago, particularmente na cidade da Praia, e em S. Vicente, visto que essas ilhas apresentam maior densidade populacional e consequentemente uma maior capacidade de produção de resíduos e as outras ilhas não apresentam uma produção de resíduos suficientes (GESTO, 2011).

Foram identificados dois locais, uma em cada ilha, para a implantação das Centrais de Valorização Energéticas, na ilha de Santiago, a central de valorização energética da Praia, com uma potência de 5 MW e na ilha de São Vicente com uma potência de 2,5 MW. No quadro da Figura 24 apresenta-se o resumo das ZDER identificadas.

ILHA	ZDER	PROJECTO	Potência [MW]	Área da ZDER (Km ²)
Santiago	ZDER.ST.4	Central RSU da Praia	5	0,456
São Vicente	ZDER.SV.5	Central RSU do Mindelo	2,5	0,272

Figura 24: Zonas para Desenvolvimento de Energias Renováveis (recurso RSU)
 Fonte: Diário da República de Cabo Verde (2011).

4 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os dados demográficos e socioeconómicos do país, nomeadamente a evolução da população, o PIB do país e por ilha, o PIB *per capita*, o número de domicílios.

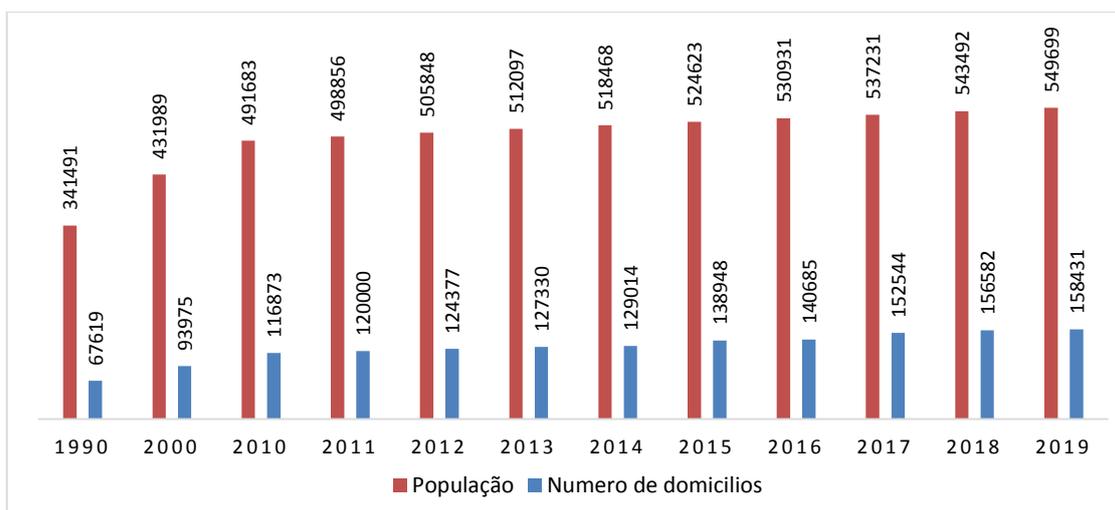
Posteriormente foi elaborado uma caracterização e modelagem do setor residencial, apresentando as características do consumo elétrico e energético nesse setor por uso final e por combustível. Com isso foi apresentado o memorial de cálculo utilizado nas projeções do consumo energético.

A seguir foi apresentado a descrição dos cenários propostos de forma a avaliar como varia o consumo energético de acordo com cada um deles. Foram analisados três cenários, o primeiro foi denominado de cenário de Referência, o segundo cenário Eficiente e o terceiro cenário de Microgeração Solar Fotovoltaica Distribuída.

4.1 Indicadores demográficos e socioeconómicos

De acordo com os resultados do Inquérito Multiobjectivo Contínuo publicado pelo INE (2020), a população residente em Cabo Verde em 2019 é estimada em 549.699, distribuídos por 158.431 domicílios, Gráfico 13, cuja dimensão média é de 3,5 pessoa por domicílio.

Gráfico 13: Evolução da população e dos agregados familiares (1990-2019)



Fonte: INE (2020)

A população de Cabo Verde, no período 2010 a 2019, cresceu a um ritmo de cerca de 1,3% ao ano.

No que se refere à densidade populacional, regista-se um aumento lento, mostrando um crescimento em cerca de 5% entre 2013 e 2017. Neste último ano registou-se o valor de 133,32 habitantes/km², a nível do país (INE, 2018).

Entre 2012 e 2016, o PIB apresentou uma variação positiva, em cinco ilhas (Santo Antão, São Vicente, Sal, Santiago e Fogo), e negativa, nas restantes (São Nicolau, Boa Vista, Maio e Brava). A ilha do Sal apresentou a maior percentual de variação (49,5%), isso se deve ao rápido crescimento do turismo nessa ilha. Em termos de participação em relação a cada ilha, a ilha de Santiago contribuiu com 52,1% do PIB de 2016, seguida da ilha de São Vicente, com 14,8% e a ilha do Sal com 14,7%, essas três ilhas juntas totalizaram cerca de 81,6%, Tabela 9.

Tabela 9: Evolução do PIB de Cabo Verde e por Ilha (em milhões de ECV)

	2012	2013	2014	2015	2016
Cabo Verde	150 351	153 723	154 436	158 699	165 782
Santo Antão	9 297	9 241	9 342	8 963	9 440
S. Vicente	22 905	23 622	24 648	25 308	24 612
S. Nicolau	3 137	3 174	3 305	3 115	2 992
Sal	16 258	16 059	16 057	16 733	24 308
Boa Vista	7 851	7 854	7 693	6 766	7 549
Maio	1 871	1 798	1 621	1 421	1 471
Santiago	79 954	83 238	83 021	87 129	86 312
Fogo	7 834	7 517	7 446	7 961	7 934
Brava	1 244	1 220	1 303	1 303	1 165

Fonte: INE (2018)

De acordo com os dados apresentados na tabela da Tabela 10, o PIB *per capita* do país passou de 297.147, em 2012, para 312.067 escudos, em 2016, representando um ligeiro aumento médio de 1,2% por ano. Nesse período, as ilhas de Santo Antão, São Vicente, Sal, Santiago e Fogo apresentaram taxas positivas do seu PIB *per capita*, tendo sido o aumento mais expressivo o registado na ilha do Sal (23,3%). As restantes ilhas apresentaram taxas negativas, tendo a ilha do Maio registado a mais baixa (-22,5%) (INE, 2018).

Tabela 10: Evolução do PIB per capita de Cabo Verde e por ilha (em ECV)

	2012	2013	2014	2015	2016
Cabo Verde	297 147	300 139	297 870	302 381	312 067
Santo Antão	218 479	220 754	226 790	221 060	236 453
S. Vicente	292 437	298 107	307 561	312 391	300 644
S. Nicolau	247 248	251 850	264 177	250 749	242 455
Sal	558 758	523 864	498 558	495 827	689 219
Boa Vista	697 162	637 904	575 090	468 225	485 980
Maio	269 850	259 378	233 294	203 553	209 168
Santiago	282 865	290 601	286 019	296 222	289 619
Fogo	214 163	207 005	206 444	222 146	222 736
Brava	211 311	209 532	226 168	228 598	206 622

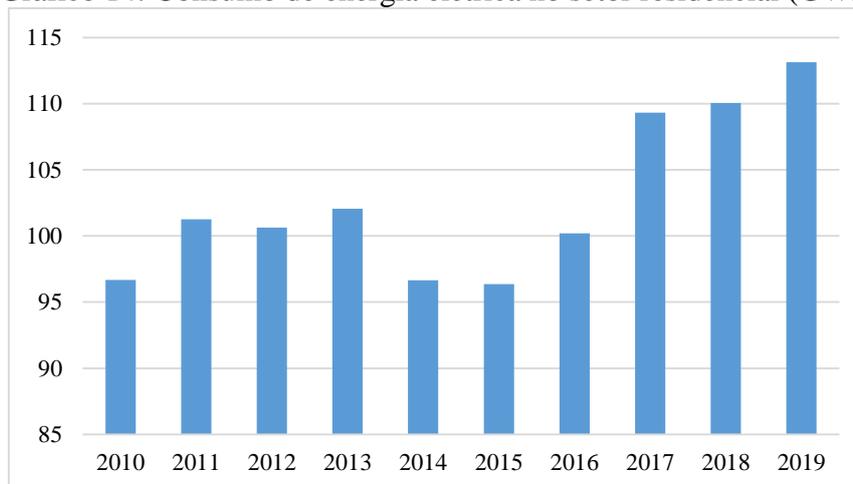
Fonte: INE (2018)

De 2012 a 2014, Boa Vista detinha o maior PIB *per capita* do país, seguida da ilha do Sal, situação que foi invertida em 2015 e 2016. Efetivamente, são duas ilhas em que o turismo se manifesta com maior expressão. Entre as ilhas existem uma enorme diferença em termos de crescimento económico, como por exemplo, o PIB *per capita* de 689219 ECV, obtido na ilha do Sal, em 2016, é mais do que duas vezes registado na ilha do Maio (209.168 escudos), nesse mesmo ano.

4.2 Caracterização e Modelagem do setor residencial

O setor residencial é o maior responsável pela demanda de energia elétrica, representando uma parcela de cerca de 30% do consumo do total. O Gráfico 14 apresenta a evolução do consumo de energia elétrica no setor residencial em GWh.

Gráfico 14: Consumo de energia elétrica no setor residencial (GWh)



Fonte: Adaptado de MICE (2020)

Os dados mais atualizados do consumo energético por setor e por fonte foram apresentados no Relatório Base para Cabo Verde (2014), inserido no Processo e Estratégia da CEDEAO para o Desenvolvimento da Agenda de Ação de Energia Sustentável para Todos (SE4ALL), dos Planos de Ação Nacionais de Energias Renováveis (PANER) e dos Planos de Ação Nacionais de Eficiência Energética (PANEE).

Em 2013 os diferentes setores económicos e residencial consumiram perto de 1715 GWh, sobretudo gasóleo (diesel), 641 GWh e lenha 370 GWh. A Tabela 11 mostra o consumo energético por setor e por fonte em GWh para o ano de 2013 em Cabo Verde

Tabela 11: consumo energético por setor e por fonte em GWh no ano 2013

2013	Gás	Petróleo	Gasolina	Gasóleo	JETA1	Eletricidade	Lenha	Carvão	Total
Transportes Terrestres	0	0	84,1	578,5	0	0	0	0	662,6
Transportes Marítimos	0	0	0	62,3	0	0	0	0	62,3
Transportes Aéreos	0	0	0	0	208,6	0	0	0	208,6
Produção Água	0	0	0	0	0	19,1	0	0	19,1
Atividades Económicas	54,4	0	0	0	0	142,7	11,8	6,4	215,3
Residencial	79,8	5,7	0	0	0	101,5	358,1	0,9	546
Total	134,2	5,7	84,1	640,8	208,6	263,3	369,9	7,3	1714

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de MTIE (2014)

Em 2013 o setor dos transportes representou cerca de 55% do consumo energético total do país, seguido do setor residencial com cerca de 32%, sendo o segundo setor que mais consome energia no país, os dois setores juntos totalizaram cerca de 87% do consumo energético total. As atividades económicas que incluem as indústrias representaram uma pequena parcela de 12% do consumo energético, isso se explica pela fraca existência de recursos naturais o que torna esse setor pouco intensivo energeticamente.

Existe uma grande lacuna de dados no que diz respeito ao consumo energético em Cabo Verde, não se tem registos da evolução do consumo energético por setores. Os únicos dados de consumo energético por combustível em cada setor encontrados são dos anos 2010 e 2013. O consumo energético no setor residencial por tipo de combustível no ano de 2010 e 2013 é apresentado na Tabela 12.

Tabela 12: Consumo energético residencial por fonte em Gwh

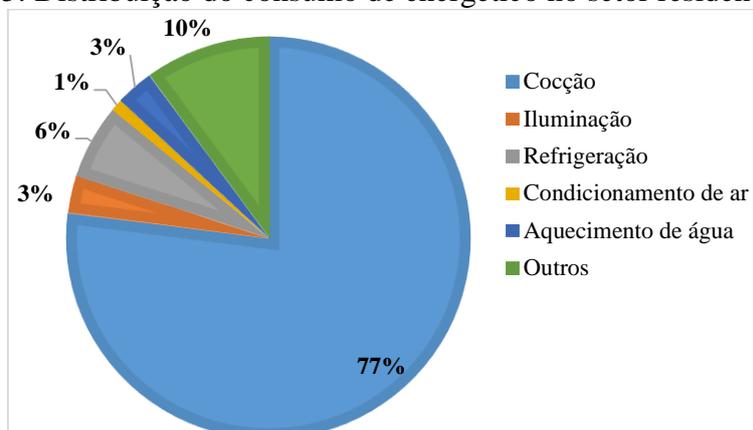
Ano	Butano	Petróleo	Eletricidade	Lenha	Carvão	Total
2010	72,1	7,5	95,9	335,4	0,7	511,6
2013	79,8	5,7	101,5	358,1	0,9	546

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de MTIE (2014)

Pode-se constatar que em 2013 no setor residencial a fonte de energia mais utilizada foi a lenha. Nesse ano o consumo energético da lenha representou um valor de 358 GWh, 65%, ocorreu uma diminuição em termos de percentagem de cerca de 1% em relação ao ano de 2010. O consumo de eletricidade por sua vez foi de 101,5 GWh, o que representou um valor de 19% do consumo energético no setor residencial seguido do gás butano com 15%.

No Gráfico 15 é apresentado a desagregação do consumo por tipo de utilização final. Entre os usos finais, o setor com maior consumo é a da cozinha, ou seja, a cocção, que representa mais de 3/4 do consumo energético nesse setor. Assim, este é um dos setores com maior potencial de economia de energia.

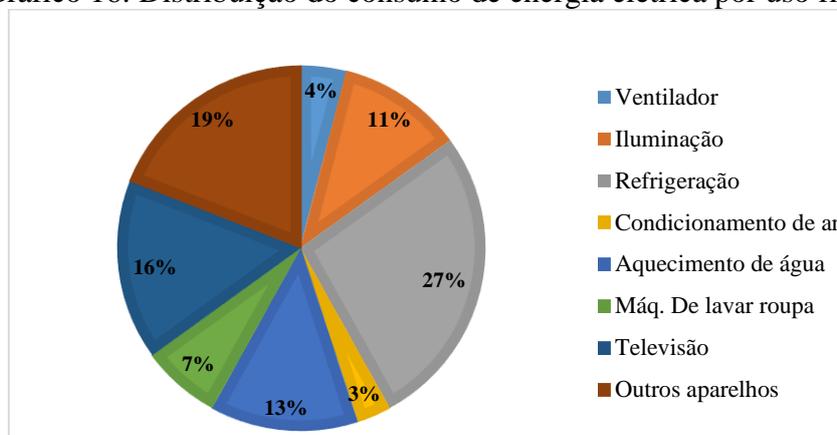
Gráfico 15: Distribuição do consumo de energético no setor residencial (GWh)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da AFREC (2019)

No que diz respeito ao consumo de energia elétrica no setor residencial, o uso final refrigeração têm mostrado maior consumo, cerca de 27%. O Gráfico 16 apresenta o consumo de energia elétrica por uso final.

Gráfico 16: Distribuição do consumo de energia elétrica por uso final



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da AFREC (2019)

A modelagem da classe Residencial foi feita definindo o nível de atividade, a quantidade de domicílios e a Intensidade energética associada ao consumo médio das residências.

O Setor Residencial é subdividido em urbano e rural. Nesse estudo a modelagem do setor residencial não seguirá essa divisão, devido a falta de dados sobre a evolução histórica do consumo energético e elétrico dividido em zonas urbanas e rurais. Não existem registros disponíveis que podiam ser utilizados nesse estudo.

Em geral, a demanda de energia pode ser desagregada por fonte (primária e secundária), uso final e por setores econômicos ou classes de consumo. Em Cabo Verde esses setores são classificados como: Residencial, Transportes, Atividades Económicas, Produção de Água e Outros.

É importante dizer que a não foi feita a divisão entre domicílios eletrificados e não eletrificados, pois, a percentagem de domicílios não eletrificados é muito pequena e os dados do consumo energético disponíveis não fazem essa divisão. Também partiu-se do pressuposto que até o final do horizonte de planejamento a taxa de eletrificação será 100%.

4.2.1 Estratificação por classes de renda

Para o estudo do consumo de eletricidade no setor residencial é necessário desagregar e analisar o consumo de energia de acordo com as variáveis socioeconômicas como, classes de renda, usos por regiões, urbanização, etc., o que não é muito fácil devido a falta de dados estatísticos em porção e qualidade adequada para este fim (AROUCA, 1982).

Como não se dispõe de dados do consumo de eletricidade por classe de renda em Cabo Verde elaborou-se um questionário destinado às famílias com o objetivo de coletar esses dados e estimar o valor desse consumo. O questionário intitulado de Consumo Energético no Setor Residencial encontra-se no Apêndice A.

Levando em consideração a desigualdade salarial em Cabo Verde, o consumo médio de eletricidade foi dividida em sete faixas de renda domiciliar expressas em número de salários mínimo. Nesse trabalho, todos os estudos foram feitos com as amostras onde era possível distinguir as classes de renda. Também foram considerados os domicílios sem rendimento

As classes de renda adotadas no questionário são:

– Sem rendimento

- Até 1 salário mínimo
- De 1 a 3 salário mínimo
- De 3 a 6 salário mínimo
- De 6 a 12 salário mínimo
- De 12 a 16 salário mínimo
- Mais de 16 salário mínimo

Para cada faixa de rendimento se admite que tanto o consumo e posse dos equipamentos como hábitos e gastos das famílias sejam mais homogêneos, ou seja, existe um padrão de consumo dentro de cada faixa de rendimento.

A determinação do tamanho de uma amostra é uma etapa de grande importância, porque amostras muito grandes levam desperdício de tempo e de dinheiro e amostras muito pequenas podem levar a resultados não confiáveis. Para a determinação do tamanho da amostra, dois principais termos foram levados em consideração que são a margem de erro e o grau de confiança.

A margem de erro é a diferença entre o valor obtido a partir da amostra e o valor real do universo, como nesse estudo não se dispõe do valor real do universo, para a definição do tamanho da amostra, foi estabelecido que o erro amostral não deveria ultrapassar o limite de 5% que é o valor considerado ideal para a definição do tamanho da amostra.

A margem de erro e o grau de confiança estão intimamente relacionados, é preciso saber qual a probabilidade de que o valor levantado pela amostra seja igual ao valor real do universo com a margem de erro mencionada. O grau de confiança é a probabilidade de que a amostra seja representativa do universo. Neste estudo foi estabelecido o grau de confiança de 99%, ou seja se a pesquisa for realizada 100 vezes ela daria o mesmo resultado em 99 das vezes.

A fórmula para cálculo do tamanho da amostra para uma estimativa confiável da proporção populacional (p) é apresentada por Levine (2000) e é dada por:

$$N = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q}{E^2} \quad (3)$$

Onde:

n = Número de indivíduos na amostra

$Z_{\alpha/2}$ = Valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado.

p = Proporção populacional de indivíduos que pertence a categoria que se está interessado em estudar.

q = Proporção populacional de indivíduos que não pertence à categoria que se está interessado em estudar ($q = 1 - p$).

E = Margem de erro ou erro máximo de estimativa

O z é o número de desvios padrão entre determinada proporção e a média. Para o nível de confiança de 99% o valor de $Z_{\alpha/2}$ é 2,58. Quanto maior o nível de confiança de amostragem desejado, maior será o tamanho da amostra.

Como nesse estudo os valores de p e q não são conhecidos de acordo com Levine (2000), devem ser substituídos por 0,5, obtendo a seguinte expressão para o cálculo do tamanho da amostra:

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \cdot 0,5}{E^2} \quad (4)$$

4.3 Características específicas do LEAP

O LEAP - *Long-range Energy Alternatives Planning System*, (Sistema de Planejamento de Alternativas Energéticas de Longo Prazo), é uma ferramenta de *software* bastante utilizado para análise de políticas energéticas e avaliação de mitigação das mudanças climáticas, desenvolvida pelo Instituto de Meio Ambiente de Estocolmo - SEI e é utilizado em todo o mundo por vários especialistas da área energética (SEI, 2018).

Esse programa cria diferentes sistemas energéticos integrados e suporta diversas metodologias de modelos. O LEAP traça o consumo de energia, produção e extração de recursos em todos os setores da economia e pode criar e avaliar cenários alternativos, comparando as necessidades energéticas com seus custos, benefícios sociais e impactos ambientais (MARUYAMA, 2013).

Essa ferramenta é muito utilizada em modelagens energéticas por ser flexível, o que permite análises tanto *bottom-up* como *top-down* e criação de vários cenários alternativos. Apresenta uma interface simples, área para demonstração dos resultados em gráficos e tabelas e integração com o Excel. O LEAP também pode conter a oferta e transformação da energia, mas sem otimização, o que o torna limitado para esta tarefa (PEREIRA JR, 2018).

O LEAP possuiu como dados de entrada: Balanço Energético do Ano Base, dados sociais (número de casas, produção industrial, etc.), taxa de crescimento demográfico e econômico por setor, parâmetros tecnológicos, coeficientes ambientais locais, projeções internacionais, custo por tecnologia, intensidades energéticas para processos de usos finais, taxa de perdas na transmissão e na distribuição de energia elétrica e eficiência

energética. A Figura 25 apresenta a tela principal da ferramenta, onde se pode observar a “árvore” do LEAP, as diversas barras, tabelas e gráficos.

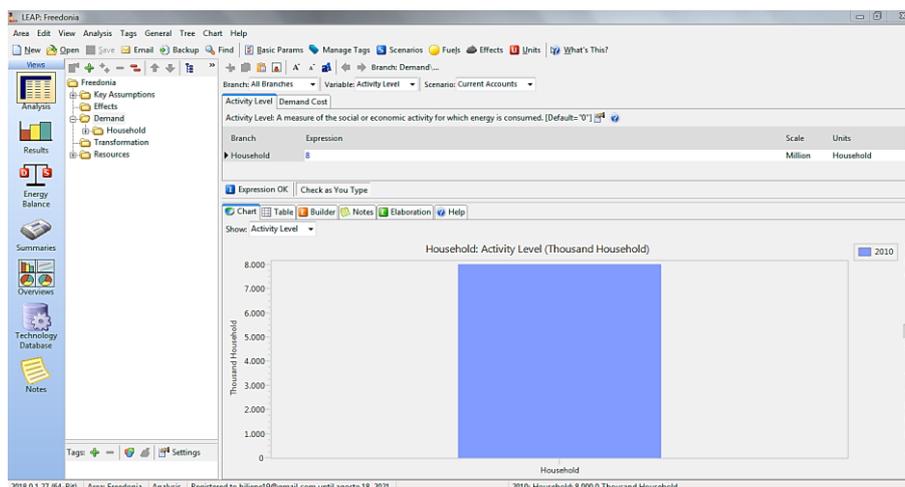


Figura 25: Tela principal da ferramenta LEAP
Fonte: LEAP (2020)

Uma característica particular da ferramenta é a estrutura em “árvore”, denominada de “árvore” do LEAP, que estrutura os dados para organizar a informação e o modelo, e visualizar os resultados, conforme observado na Figura 26. Os Ícones indicam o tipo de dados (categorias, usos, tecnologias, combustíveis e efeitos). O usuário pode editar a estrutura de dados e organizá-la em função da informação disponível (SANTOS, 2010).

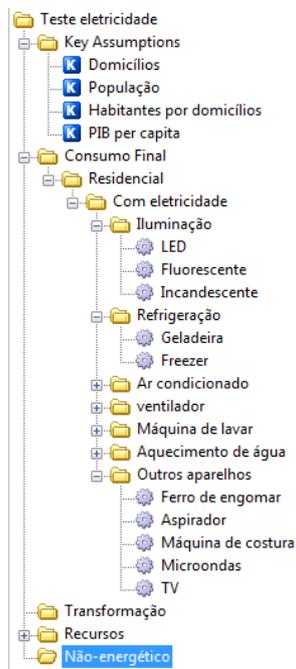


Figura 26: Exemplo de árvore do LEAP
Fonte: LEAP (2020)

No LEAP as ramificações são definidas pelo usuário e não detêm um modelo fixo. Os ramos são criados em formato de pastas de acordo com as necessidades, o que faz com

que a ferramenta tenha uma grande quantidade de combinações diferentes, podendo ser editadas quando for preciso, podendo-se criar, excluir, copiar e colar pastas. A estrutura dos ramos é hierárquica, os ramos mais altos são denominados de categorias e os mais baixos contêm as informações do tipo de tecnologia. Na demanda, os ramos de tecnologia são associados a combustíveis e possuem uma intensidade energética associada a eles (ALEIXO, 2015).

Como resultados, o LEAP apresenta o resultado desagregado por setores de economia nas demandas dos usos finais de energia, evolução da distribuição rural/urbana, evolução da distribuição por classes de renda, e modificação no perfil de uso de serviços energéticos (MARUYAMA, 2013). A Figura 27 e 28 mostram a “árvore” do modelo do LEAP utilizado nesse estudo para o consumo da energia elétrica e para o consumo energético consecutivamente.

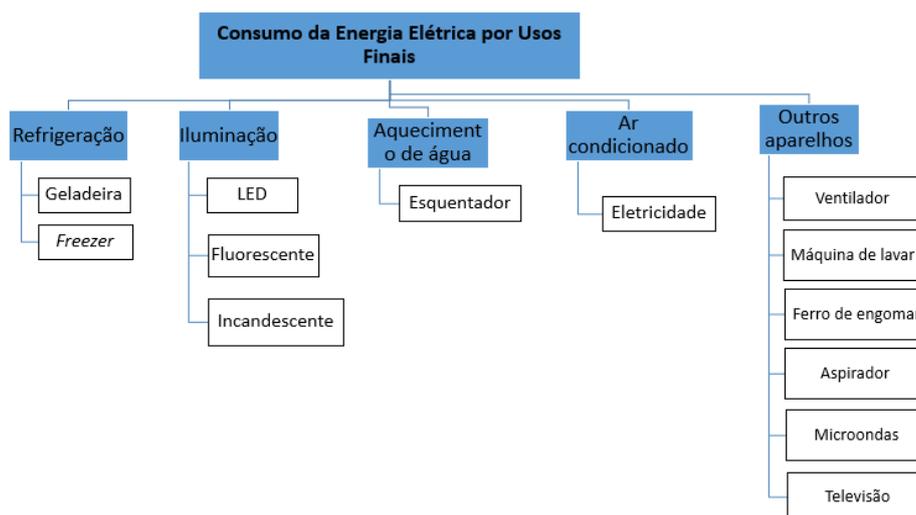


Figura 27: “Árvore” do modelo do LEAP para o consumo da energia elétrica utilizada no estudo

Fonte: Elaboração própria

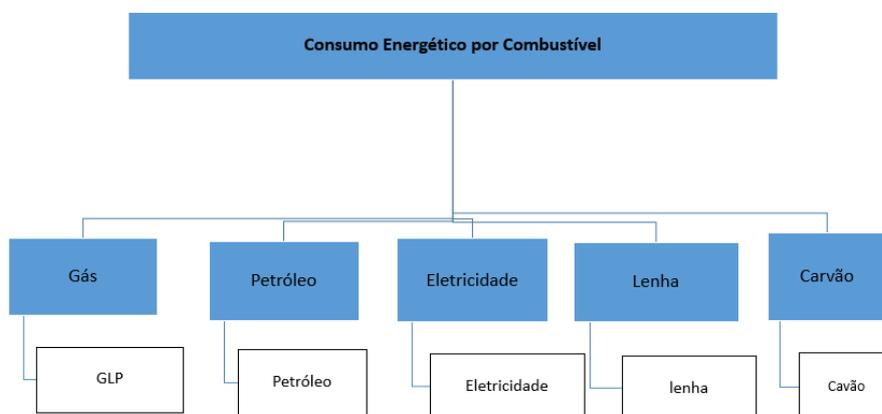


Figura 28: “Árvore” do modelo do LEAP para o consumo energético utilizada no estudo

Fonte: Elaboração própria

4.4 Cálculo do consumo de energia no setor residencial

O modelo para análise e projeção do consumo elétrico e energético no setor residencial utilizado é um modelo “*bottom-up*”, isto é, um modelo desagregado que faz a modelagem partindo da demanda até o recurso energético.

O número de domicílios no período de referência utilizado no estudo segue a informação das unidades consumidoras do setor fornecido pelo INE (2018).

O número total de domicílios em Cabo Verde em 2017 de acordo com os dados do INE (2018) foi cerca de 152544 domicílios. As fontes de energia nas áreas urbanas são mais diversificadas do que nas zonas rurais, uma vez que o acesso a combustíveis e aparelhos alternativos (modernos) são mais altos nas áreas urbanas do que nos áreas rurais.

Dessa forma, foi calculado o número de habitantes por domicílio a partir da Equação 5 apresentado a seguir:

$$H_d = \frac{P_{op}}{N_d} \quad (5)$$

Onde: H_d é a quantidade de habitantes por domicílio; P_{op} é a população do país e N_d é o número de domicílios. Na Tabela 13 é apresentado o número de habitantes por domicílio:

Tabela 13: Número de habitantes por domicílio

Ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
P_{op}	491875	498856	505848	512096	518468	524623	530931	537231
N_d	116873	120000	124377	127330	129014	138948	140685	152544
H_d	4,21	4,16	4,07	4,02	4,02	3,78	3,77	3,52

Fonte: Elaboração própria a partir de INE (2018).

Entre 2016 e 2017 houve um aumento de número de domicílios que passa de 140.685 para 152.544, levando a diminuição do número de habitantes por domicílio, passando em 2017 para 3,52 pessoas por domicílio (INE, 2018).

Para a modelação da demanda no ano de base é necessário desagregar a informação nas diferentes utilizações finais de energia. Para cada setor, os cálculos de consumo de energia se baseiam no nível de atividade e na intensidade energética das utilizações definidas.

Em relação ao nível de atividade no setor residencial foi considerado o número de domicílios e a população. O número de domicílio é um indicador de extrema importância

pois influência a evolução do consumo e pode ser associado às previsões da evolução da população.

O cálculo da demanda energética é o resultado do produto entre o Nível de Atividade e a Intensidade Energética atribuída em cada ramo de tecnologia. A demanda de energia é calculada para o ano de base e para cada um dos cenários futuros a partir da Equação 6

$$D_{b,s,t} = NA_{b,s,t} \cdot IE_{b,s,t} \quad (6)$$

Onde: $D_{b,s,t}$ é a demanda energética (em GWh ou MWh);

$IE_{b,s,t}$ a intensidade energética (em kWh);

$NA_{b,s,t}$ se refere ao nível de atividade, b é o ramo, s é o cenário e t é o ano variando do ano de base 0 ao ano final (em percentagem)

Todos os cenários evoluem a partir dos mesmos dados de ano de base, de modo que quando $t = 0$, a equação acima pode ser escrita como:

$$D_{b,0} = NA_{b,0} \cdot IE_{b,0} \quad (7)$$

A demanda de energia calculada para cada ramo de tecnologia é identificada exclusivamente com um combustível específico. Assim, ao calcular todos os ramos de tecnologia, o LEAP também calcula a demanda total de energia final de cada combustível.

O nível de atividade total para uma tecnologia é o produto dos níveis de atividade em todas as ramificações de tecnologia até a ramificação de demanda original.

$$TA_{b,s,t} = A_{b',s,t} \cdot A_{b'',s,t} \cdot A_{b''',s,t} \cdot \dots \quad (8)$$

Onde A_b é o nível de atividade em um determinado ramo b , b' é o ramo superior ao ramo b , b'' é superior ao ramo b' , etc.

Os ramos marcados como "sem dados", bem como o ramo de nível superior "Demanda" são tratados como tendo um nível de atividade de 1. Os valores do nível de atividade de outros ramos com unidades percentuais (por exemplo, percentagens de ações ou percentagens de saturação) são sempre divididos por 100 para produzir um valor fracionário de zero a um nos cálculos.

O LEAP calcula um valor em qualquer ano por interpolação linear de uma série temporal de pares ano/valor. O parâmetro opcional final para a função é uma taxa de crescimento aplicada após o último ano especificado. Se nenhuma taxa de crescimento for especificada, o crescimento zero é assumido (ou seja, os valores não são extrapolados). O valor de cada ano intermediário é calculado a partir da Equação 9.

$$\text{Valor}_{pi} = \text{Valor}_{pp} + (\text{Valor}_{pf} - \text{Valor}_{pp}) \cdot [(\text{Ano}_{pi} - \text{Ano}_{pp}) / (\text{Ano}_{pf} - \text{Ano}_{pp})] \quad (9)$$

Onde p_i é período intermediário, cujo valor deve ser interpolado, p_f é o período final usado como base para a interpolação e p_p é o primeiro período usado como base para a interpolação.

Também pode ser calculado um valor em qualquer ano usando uma taxa de crescimento a partir do valor do ano base. Por fazer referência ao valor do ano base, esta função está disponível apenas na edição de cenários. Pode ser especificado uma única taxa de crescimento ou, usando as sintaxes alternativas, podendo especificar até 5 períodos com diferentes taxas de crescimento. Para especificar uma diminuição de taxa é usado valores negativos para a taxa de crescimento.

Crescimento (valor) ou

Crescimento (valor1, ano2, valor2) ou

Crescimento (valor1, ano2, valor2, ano3, valor3) ou

Crescimento (valor1, ano2, valor2, ano3, valor3, ano4, valor4) ou

Crescimento (valor1, ano2, valor2, ano3, valor3, ano4, valor4, ano5, valor5)

4.5 Horizonte de projeções

O horizonte de projeção considerado para o estudo foi estipulado no médio prazo. O primeiro ano simulado para o consumo energético por fonte de combustível foi ano 2013 pois, é o ano que apresenta dados mais completos do consumo energético e para o consumo da energia elétrica o ano de base escolhido foi o ano 2017 e o ano final de todas as projeções foi o ano 2030. O ano final 2030 se justifica pelo fato de que todas as políticas energéticas estipuladas pelo governo foram elaboradas até 2030.

4.6 Consolidação dos dados de ano de base

O ano de base é o ano inicial do conjunto de dados históricos que compõem as variáveis de entrada na construção da previsão da demanda. A partir da obtenção e organização dos dados, preparou-se o histórico de referência, referente as características da demanda energética no setor residencial e da evolução das variáveis no período.

Para a projeção da demanda da energia elétrica o ano de base escolhido foi o ano 2017, por se tratar do ano com dados mais recentes e mais completo. Quanto a projeção da demanda energética o ano de base escolhido foi o ano o ano 2013 pois, os dados do consumo energético no setor residencial se encontram desatualizados, sendo o mais recente o ano 2013.

A demanda de energia do setor residencial é determinado a partir dos usos finais, que podem ser distribuídos nas seguintes finalidades: iluminação, refrigeração de alimentos, cocção, condicionamento de ar, aquecimento de água e outros usos elétricos, incluindo eletrodomésticos diversos, ar condicionado, ventilador, máquina de lavar, ferro de engomar, entre outros.

No ano de base 89,5% dos domicílios já se encontravam conectados à rede elétrica, essa percentagem corresponde a mais de 136 mil domicílios (INE, 2020).

A energia para fins de iluminação é obtida a partir de 3 principais fontes, eletricidade, vela e petróleo. Em Cabo Verde cerca de 89,6% dos domicílios utilizam eletricidade como principal fonte de iluminação. A iluminação a partir da energia elétrica é predominante na zona urbana com 93% dos domicílios e na zona rural 82,1% dos domicílios (INE, 2018). A Tabela 14 mostra em percentagem as principais fontes de energia utilizadas para iluminação no setor residencial na zona urbana e rural.

Tabela 14: Fontes de energia utilizadas para iluminação no setor residencial (%)

	Eletricidade	Vela	Petróleo	Gás	Outras
Cabo Verde	89,6	9,3	0,7	0	0,4
Urbano	93	6,4	0,2	0	0,5
Rural	82,1	15,7	1,9	0	0,3

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do INE (2018)

O uso final "Iluminação" integra a utilização de lâmpadas e velas. Desta forma, a principal questão consiste na escolha pelo tipo de lâmpada (incandescente, fluorescente ou LED) que será escolhido pelos residentes do domicílio.

Como não se dispõe de dados a respeito do tipo de lâmpada utilizada nas residências, utilizou-se os dados provenientes do Questionário do Consumo Energético. O questionário mostrou que as lâmpadas fluorescentes são as mais utilizadas, com um percentual de 48,4%. O somatório das percentagens ultrapassa 100% pois, existem residências que utilizam mais do que um tipo de lâmpada. Também verificou-se que a percentagem de utilização de lâmpadas incandescente ainda é bastante significativa, 33,4% das residências ainda utilizam esse tipo de lâmpada que tem um peso significativo no consumo energético. As percentagens de cada tipo de lâmpada utilizada são apresentadas na tabela 15.

Tabela 15: Tipos de lâmpadas utilizadas nas residências

Tipo de lâmpada	Percentagem de domicílios
LED	47,7%
Fluorescente	48,4%
Incandescente	33,4%

Fonte: Inquérito Consumo Energético, 2020

Em Cabo Verde combustíveis alternativos modernos para cozinhar, como o GLP, estão sendo promovidos como uma maneira mais limpa e eficiente de cozinhar. No país destacam-se duas principais fontes de energias utilizadas para cocção, o gás butano e a lenha. Cerca 76,5% das residências utilizam o gás butano como principal fonte de energia para cocção e cerca de 20,2% utilizam a lenha. A lenha é utilizada com maior intensidade nas zonas rurais, cerca de 53,6% das famílias dependem da lenha para cozinhar, mais da metade dos domicílios. O gás por outro lado é o combustível de cozinha predominante nas áreas urbanas, 90,7% dos domicílios utilizam o gás butano o que coloca o país com a maior percentagem de utilização do gás butano da África Ocidental (INE, 2018). A Tabela 16 mostra as fontes de energia utilizadas para cocção no país, no meio urbano e rural.

Tabela 16: Fontes de energia utilizadas para cocção no setor residencial

	Gás	Lenha	Carvão	Eletricidade	Não prepara	Outros
Cabo Verde	76,5	20,2	0,1	0,3	2,9	0,1
Urbano	90,7	5,6	0	0,3	3,3	0,1
Rural	43,9	53,6	0,2	0,2	2,1	0

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do INE (2018)

Atualmente a opção para aquecimento de água é maioritariamente por esquentadores (chaleira) elétricos com um custo elevado para as famílias. Cerca de 8,1% das residências possuem esquentadores elétricos. O país está investindo fortemente na qualificação de técnicos e equipamentos que permitirão a opção de instar aquecedores solares nos domicílios.

No que se refere a quantas residências possuem cada um dos equipamentos de uso energético, o Instituto Nacional de Estatística fez um Inquérito Multiobjectivo Contínuo, publicado em 2019, documento esse intitulado de Estatísticas das Famílias e Condições de Vida. De acordo com esse inquérito pode-se afirmar que fogão, o ferro de engomar e a geladeira (frigorífico) estão massivamente presentes nas residências cabo-verdianas, Figura 29. Já o *freezer* (arca congeladora), o aspirador e o aparelho de ar condicionado estão presentes em uma pequena percentagem das residências.

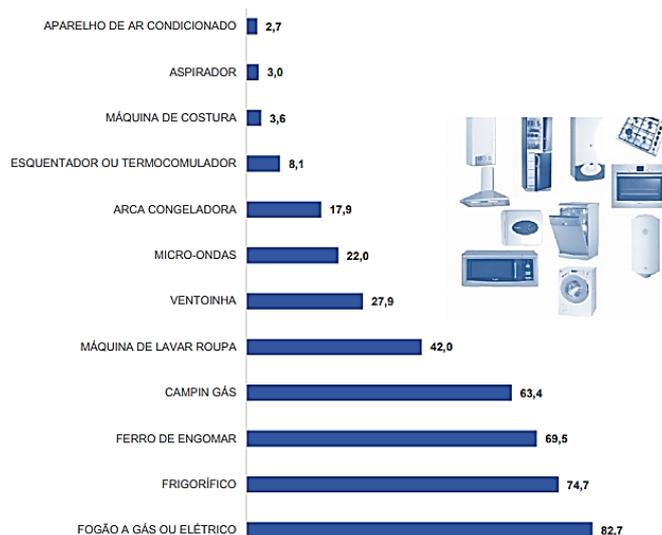
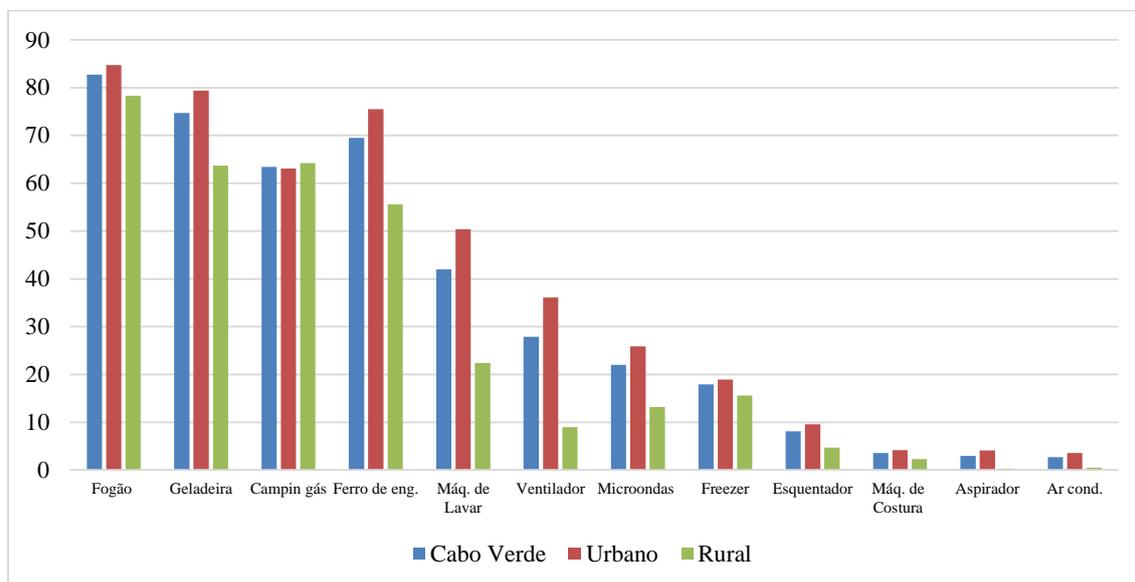


Figura 29: Percentagem das residências, segundo a posse de equipamento doméstico.
Fonte: INE (2020)

Observa-se que mais 60% dos domicílios possuem pelo menos um fogão a gás ou elétrico, geladeira, ferro de engomar ou *campin* gás (fogareiro a gás).

O Gráfico 17 mostra a percentagem dos domicílios segundo a posse de equipamentos domésticos em Cabo Verde, divididos em zona rural e urbana.

Gráfico 17: Percentagem dos domicílios segundo a posse de equipamentos domésticos



Fonte: INE (2020)

Pelo gráfico observa-se que os domicílios na zona rural têm menos acesso a equipamentos elétrico e energéticos. A geladeira é o principal equipamento utilizado para a refrigeração dos alimentos. No país 74% das residências possuem esse eletrodoméstico. Na zona rural 63,7% e na zona urbana 79,4%.

O uso final refrigeração se dá basicamente por dois eletrodomésticos, a geladeira (frigorífico) e o *freezer* (arca congeladora). Similarmente a utilização das lâmpadas, também foi utilizado os dados do inquérito para quantificar as percentagens de utilização desses dois eletrodomésticos. De acordo com inquérito 97,4% dos domicílios possuem equipamentos de refrigeração, sendo a geladeira 74,7% e o freezer 17,9%.

O ar condicionado é um equipamento que quase não se encontra presente nos domicílios do país, em 2019 apenas 2,7% das residências apresentaram a posse do ar condicionado, sendo que na zona rural apenas 0,3% das residências possuem esse aparelho, enquanto que os ventiladores estão presentes em 27,9% dos domicílios e a máquina de lavar em 42%.

Para o cálculo do consumo anual de cada equipamento foram utilizados os dados de potência e horas de utilização provenientes da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos – ERSE de Portugal, visto que a maioria dos eletrodomésticos utilizados no país são provenientes da Europa principalmente de Portugal. A estimativa do consumo anual de cada equipamento é apresentada na Tabela 17.

Tabela 17: Potência e energia consumida dos eletrodomésticos.

Equipamento	Potência (W)	Dias Estimados Uso/Mês	Horas de utilização	Energia consumida (kWh/mês)	Energia consumida (kWh ano ⁻¹)
Lamp. Incandescente	80	30	5	12,0	144
Lamp. Fluorescente	26	30	5	3,90	47,0
Lamp. LED	12	30	5	1,80	22,0
Geladeira	150	30	10	45,0	540
Freezer	250	30	10	75,0	900
Ar condicionado	2500	30	8	600	7200
Ventilador	40	30	8	9,60	115
Máquina de lavar	1500	12	1	18,0	216
Esquentador elétrico	1500	30	0,5	22,5	270
Ferro de engomar	1600	14	0,7	15,7	188
Aspirador	1600	30	0,33	15,8	190
Máquina de costura	60	10	3	1,80	22,0
Microondas	750	30	0,33	7,43	89,0
Televisão	100	30	5	15,0	180

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados de ERSE, 2021

O valor da energia consumida em kWh ano⁻¹, corresponde as intensidades energéticas anuais inseridas no *software*. Para a elaboração dos cenários as intensidades energéticas que não sofrerem nenhuma alteração vão continuar os mesmos valores que foram inseridos no ano de base

4.7 Elaboração de cenários

A elaboração de cenários para projeção da demanda é baseada em dois métodos, os chamados métodos tradicionais ou clássicos de projeção, que são os métodos que conduzem a estimativas com erros crescentes (grandeza por grandeza), determinando um cenário de referência e os métodos prospectivos ou cenários subsequentes, que fornecem uma demanda distinta em termos de qualidade e quantidade, pois são construídos a partir das variáveis explicativas. Com base no cenário de referência é possível definir demandas diferentes, a partir dos cenários subsequentes (ROCHA JUNIOR, 2011).

Os cenários demonstram ser muito úteis na área de planejamento energético, representam as alternativas para o futuro, que podem ser a curto, médio ou longo prazo, antecipando oportunidades, riscos ou novas possibilidades.

Foram feitas duas simulações de cenários diferentes. A primeira considera apenas a energia elétrica e a segunda abrange a energia total utilizada no setor residencial.

Neste estudo foi utilizado a ferramenta computacional LEAP para geração de cenários. A projeção da demanda energética no setor residencial de Cabo Verde até 2030 foi realizada utilizando cenários alternativos, onde cada um teve objetivos diferentes, possibilitando aos tomadores de decisão escolherem qual o caminho seguir para visualizar um desenvolvimento sustentável. Diante disso, foram considerados 3 cenários: Cenário referência, Cenário Eficiente e Cenário de Microgeração Fotovoltaica Distribuída.

Para elaboração de cenários, foram definidas medidas que influenciam a demanda energética relacionado aos usos finais iluminação, aquecimento de água, climatização, refrigeração de alimentos e uso de eletrodomésticos e relacionados ao tipo de combustível.

O número de domicílios e de pessoas por domicílio são variáveis importantes e de grande influência no setor residencial. Em todos os cenários adotados, as projeções para a população, o número de pessoas por domicílio e o número de domicílios, foram as mesmas, ou seja, o crescimento econômico e demográfico não sofrerá alterações entre os cenários.

4.7.1 Cenário de referência

O primeiro cenário analisado foi o cenário de Referência, que buscou incluir as projeções demográficas e medidas que já se encontram no planejamento energético do país, seguindo os objetivos propostos e assumindo as políticas energéticas existentes.

Esse cenário representa um crescimento de demanda energética contínua, com tendências de crescimento e evolução de consumo eficiente dos setores. Nas suas premissas foram adotadas as políticas energéticas, como substituição de tecnologias, consumo eficiente e a conscientização da utilização de equipamentos elétricos e eletrônicos com certificação de eficiência energética.

Nos casos em que sejam conhecidas as metas ou as políticas energéticas nacionais assumiu-se a sua concretização e nos casos em que só se conhece o histórico de uma dada variável considerou-se que esta não varia até 2030. Quando não se tem nenhuma informação sobre a sua tendência, considerou-se que o valor do ano base não se altera.

De acordo com o Perfil do Setor de Habitação de Cabo Verde - PSH (2019), a população de Cabo Verde passará de e 537 mil habitantes distribuídos por 153 mil agregados familiares em 2017, para aproximadamente 621 mil habitantes em 2030. Mantendo constante o número de habitantes por domicílios de 3,5 nesse período, resultará em aproximadamente 177 mil domicílios em 2030, totalizando um aumento de cerca de 25 mil novos domicílios.

Em 2015 o governo apresentou o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER), período (2015-2020/2030). O PNAER integra uma tríade de documentos de política pública, que inclui adicionalmente o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e a Agenda de Ação para a Energia Sustentável para Todos (AA SE4ALL). Nesse documento foi apresentado as metas para as energias renováveis e eficiência energética em todos os setores de consumo.

Portanto para o cenário de “Referência”, foram considerados as metas propostas para o setor residencial no PNAER no horizonte de 2020 a 2030, conforme descrito a seguir:

Aquecimento de água com energia solar térmica: A meta prevê que até 2030, 100% das novas residências (habitações unifamiliares novas) terão sistemas solares térmicos para o aquecimento de água, ou seja, cerca de 25 mil dos novos domicílios que serão construídos no horizonte de planejamento utilizarão a energia solar para o aquecimento de água. A meta também é atingir um mínimo de 10% de reconversão de residências que utilizam sistemas domésticos de água quente para aquecedores solares, o que equivale a 7,48% dos domicílios;

Com essa meta o impacto esperado será o aumento da penetração de água quente aquecida a partir de fontes renováveis, a diminuição dos custos para aquecimento doméstico de água e a potenciação do mercado de aquecedores solares.

Metas para aplicações de cocção domésticas: A meta prevê que até 2030, 3,2% da população total que utiliza lenha, utilizarão fogões melhorados e 91,3% da população fará o uso de combustíveis modernos alternativos para cocção (sobretudo gás GLP). Tendo em conta a escassez de biomassa e o frágil ecossistema, procurar-se-á reduzir o consumo de lenha, seja promovendo outras formas de energia para a cocção, seja promovendo o uso de lenha com fogões melhorados mais eficientes e, por isso, com menor necessidade de lenha e menos emissões de gases prejudiciais à saúde. Também prevê-se o incentivo a pequenas instalações de biogás para cocção, tendo em conta que o seu uso pode trazer benefícios principalmente para a comunidade rural.

Prevê-se a redução do número de famílias que utilizam a lenha para cerca de 2,0% no meio urbano e 10% no meio rural e eliminação do uso do fogão à lenha de três pedras. No entanto, prevê-se que a percentagem de famílias que utilizem a lenha seja residual em 2030 devido ao aumento da urbanização do país e a uma melhoria no poder de compra das famílias.

Eficiência Energética dos Equipamentos e Eletrodomésticos: De modo a reduzir o consumo e a fatura energética a eficiência energética dos eletrodomésticos deverá ser fiscalizada na importação, comercialização e utilização, estando sujeita a regulamentação específica. A intervenção pública privilegiará igualmente a atuação na sensibilização, informação e educação da população.

Foram eleitos cinco produtos prioritários como alvos de etiquetagem, geladeira, ar condicionado, lâmpadas, televisores, aquecedores de água e máquina de lavar.

O Sistema Nacional de Etiquetagem e Requisitos dos Equipamentos Elétricos (SNEREE) foi criado pelo Decreto-Lei nº 25/2019 de 13 de junho. O presente Decreto estabelece medidas e obrigações de informação a prestar ao utilizador final do produto.

No que diz respeito a utilização de lâmpadas para o uso final iluminação a meta é que até 2030 ocorra a eliminação total das lâmpadas incandescentes, ou seja, todos os domicílios passarão a utilizar em maior percentagem lâmpadas LED's mas, ainda existirá uma parcela utilizando lâmpadas fluorescentes. Como não se dispõe desses dados percentuais concretos no PNAEE, nesse estudo foram feitas suposições de acordo com o plano. As divisões percentuais dos tipos de lâmpadas previstas para o ano 2030 são apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18: Metas nacionais estimadas para iluminação no ano 2030

Tipo de lâmpada	2030
LED's	95%
Fluorescente	15%
Incandescente	10%

Fonte: Adaptado do PNAEE (2015)

O PNAEE estipulou a eliminação das lâmpadas incandescentes até 2030, mas nesse estudo para o cenário de referência foi considerado que até o final de 2030 ainda existirá uma percentagem de domicílios utilizando esse tipo de lâmpada pois, as metas previstas no uso final iluminação para o ano de 2020 até essa data ainda não foram cumpridas, fazendo com que ocorra um atraso no comprimento das metas para 2030.

Os dados referentes às taxas de crescimento de penetração dos equipamentos elétricos nas residências tiveram como base o estudo elaborado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD em 2015 intitulado de Projeto de Eficiência Energética de Eletrodomésticos & Edifícios, Cabo Verde. O projeto teve como principal objetivo abordar legislação dos quadros legais e regulamentares e políticas coordenadas a nível nacional em Cabo Verde para abordar a questão de eficiência energética em edifícios e eletrodomésticos.

O PNUD (2015), fez lista de produtos importados, cinco eletrodomésticos são selecionados para os padrões iniciais e rotulagem programa: condicionadores de ar, geladeiras e *freezers*, aquecedores elétricos de água, televisores e lâmpadas. Foi considerado que a taxa de penetração do eletrodomésticos segue a tendência de crescimento gradual no volume de importação tendo em conta que maior parte dos equipamentos utilizados no país é oriundo de mercados externos principalmente de Portugal e Holanda.

A partir desses dados foi calculado a percentagem dos domicílios que possuem cada tipo de eletrodoméstico no ano 2030. As taxas de crescimento da penetração dos equipamentos e a percentagem dos domicílios que possuem esses equipamentos estão apresentadas na Tabela 19.

Tabela 19: Taxa e percentagem de penetração dos eletrodomésticos nos domicílios

	Domicílios com o eletrodoméstico em 2017	Taxa de penetração	Domicílios com o eletrodoméstico em 2030
Geladeira	75%	4,0%	95,6%
Freezer	18%	4,0%	22,9%
Ar condicionado	3%	6,3%	4,59%
Esquentador	8%	5,5%	12,5%
Aspirador	3%	6,0%	4,90%
Microondas	22%	6,0%	36,1%
Ventilador	28%	6,0%	45,8%
Máquina de lavar	42%	7,0%	77,9%
Máquina de costura	4%	6,0%	5,91%

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de PNUD, 2015

Quanto às intensidades energéticas dos equipamentos foi tomado como base dos dados o estudo sobre processos para a implementação do programa nacional de etiquetagem de equipamentos elétricos, elaborado pela Direção Geral de Energias em parceria com a *Gesto Energy Consulting*. As intensidades energéticas utilizadas nas projeções estão apresentadas no Apêndice B. O potencial de economia com a introdução de etiquetas nos equipamentos selecionados é apresentado na Figura 30.

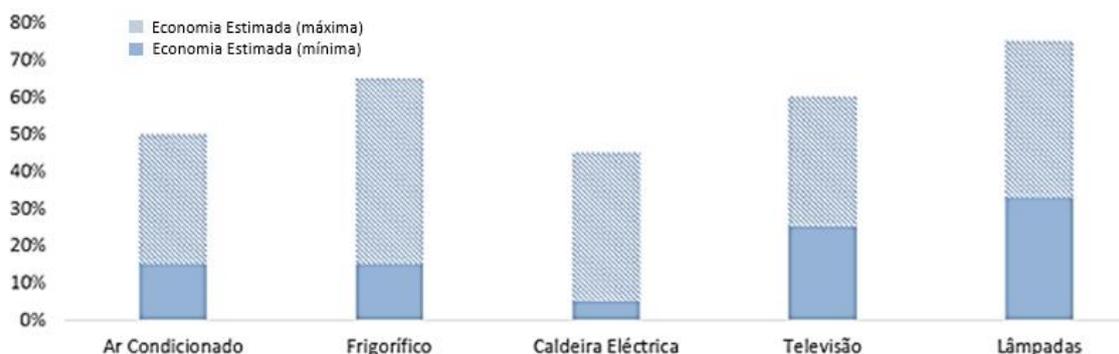


Figura 30: Potencial de economia do consumo com a introdução de etiquetas nos equipamentos selecionados

Fonte: DGE, 2018

4.7.2 Cenário Eficiente

O segundo cenário analisado foi o cenário eficiente, sustentável ou de eficiência energética. Esse cenário visa um consumo racional e eficiente de energia. Tem como base o aumento de eficiência energética e a redução da intensidade energética em todos os usos finais do setor residencial, levando em consideração o aumento da tecnologia e melhoria

nos hábitos de consumo. Assim, os indicadores de intensidade energética e consumo médio sofrem reduções na sua evolução, devido ao aumento da eficiência no consumo do setor residencial. Logo para o cenário “Eficiente” tem as seguintes previsões para o horizonte de planejamento:

Todos os novos domicílios construídos até 2030 possuirão aquecedor solar térmico de água e 15% dos domicílios existentes passarão a utilizar aquecedor solar de água, totalizando cerca de 29% dos domicílios em 2030.

A única fonte de iluminação será a partir de energia elétrica. Prevê-se a eliminação de velas e das lâmpadas incandescentes e fluorescentes, ou seja, até 2030 todas as residências estarão utilizando lâmpadas LED's.

Prevê-se uma diminuição no consumo energético, levando em consideração a troca de eletrodomésticos sem selo de eficiência energética por eletrodomésticos certificados, principalmente nos usos finais de climatização e refrigeração de alimentos. Com essa medida propõe-se que 100% dos eletrodomésticos possuam selos de eficiência energética, ou seja, até 2037 o país só permitirá a entrada de eletrodomésticos eficientes.

Prevê-se a conscientização e promoção de hábitos de economia de energia e utilização de eletrodomésticos com selo de eficiência. Nesse cenário espera-se que ocorra um incentivo e financiamento do governo para apoiar projetos que visam a troca dos eletrodomésticos ineficientes. Dessas medidas estimou-se a redução da intensidade energética dos equipamentos em cerca de 0,5% ao ano. O Apêndice B apresenta as intensidades energéticas e o nível de atividade utilizados no ano de base e nos dois cenários analisados.

A meta prevê que até 2030, 10% da população total que utiliza lenha, utilizarão fogões melhorados, contabilizando uma diminuição de mais 6,8% em relação ao cenário de referência.

O fogão solar embora pouco utilizado e divulgado no país atualmente, tem-se mostrado ser promissor para a substituição da lenha, visto que como mencionado nos capítulos anteriores o país possui um bom índice de radiação solar para aproveitamento energético. Portanto para esse cenário prevê-se que até 2030 a percentagem dos domicílios que utilizam lenha no ano de base passam a utilizar o GLP ou o fogão solar.

4.7.3 Cenário de microgeração solar fotovoltaica distribuída

Como apresentado nas seções anteriores, o setor residencial aparece como o setor com maior participação no consumo final de energia elétrica (30%) e que vem

umentando ao longo dos anos. Daí surge a necessidade de buscar por alternativas de geração de eletricidade para suprir essa crescente demanda.

Geração distribuída é o termo dado à energia elétrica gerada no local de consumo ou próximo a ele, sendo válida para diversas fontes de energia renováveis como por exemplo a energia solar. Este tipo de geração oferece benefícios para o sistema elétrico trazendo impactos de menor intensidade, melhoria do nível de tensão da rede em horários de carga pesada e a diversificação da matriz energética.

Cabo Verde compromete-se a fazer uma grande mudança em direção à economia de baixo carbono, aumentando a participação das ER no fornecimento de eletricidade atualmente em 18,4% para 30% em 2025 e até 50% em 2030.

Decreto-Lei nº 54/2018 estabelece as disposições relativas à promoção, ao incentivo e ao acesso, licenciamento e exploração inerentes ao exercício da atividade de produção independente e de autoprodução de energia elétrica com base em fontes de energia renováveis.

Portanto o presente estudo fez uma análise de inserção de energia solar fotovoltaica nas duas últimas classes de renda, visto que são as classes que mais consomem energia, fazendo com que o sistema seja válido. Os dados obtidos do inquérito compreendem uma quantidade considerável de domicílios que se enquadram nessas classes de renda.

Considerou-se a introdução de painéis fotovoltaicos ligados à rede de distribuição de energia elétrica (*on-grid*). Calculou-se o consumo médio mensal dos domicílios de cada classe de renda de acordo com os resultados do inquérito apresentado.

De acordo com IRENA (2020), o custo nivelado de eletricidade a partir da energia solar fotovoltaica é de USD 0,068/kWh, já considerando o custo da instalação, operação e manutenção. Foi considerado a vida útil do projeto de 25 anos IPEA (2018). Elaborando os cálculos chegou-se em um custo total do sistema proposto durante toda a vida útil do projeto de 38,0 milhões de dólares.

A partir do custo do sistema calculou-se o custo total do investimento. Do conhecimento da energia gerada a partir do sistema fotovoltaico e dos custos totais, utilizando a ferramenta *Excel* fez-se a análise da viabilidade econômica do projeto calculando os seus índices, o Valor Presente Líquido - VPL, a Taxa Interna de Retorno - TIR e o *payback* que é o tempo que o projeto começa a ter retorno, utilizando uma Taxa Mínima de Atratividade anual de 10%.

Com isso foi possível comparar a diminuição na projeção do consumo não prevista no modelo proporcionada pela geração fotovoltaica. A geração fotovoltaica afeta o

consumo total residencial, pois ao produzir uma parte de energia que se consome, não será necessário comprá-la da distribuidora.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo será apresentado os resultados das projeções da demanda do consumo de energia elétrica por usos finais e da demanda energética por combustível em Cabo Verde, para o ano de base, para o cenário de referência e para o cenário de Eficiência. Com as premissas adotadas e inseridas no LEAP, obtém-se a previsão de demandas energéticas completas estratificadas por combustível e usos finais.

5.1 Ano de Base

A partir das informações coletadas sobre o nível de atividade e a intensidade energética dos principais usos finais (Iluminação, Refrigeração, Aquecimento de água, Ar condicionado, Ventilador, Máquina de Lavar e outros eletrodomésticos), calculou-se o consumo de cada uso final no ano de base levando em consideração a posse desses equipamentos por domicílios e a potência de cada um. Os resultados do consumo da energia elétrica por uso final no setor residencial no ano de base são apresentados no gráfico da Figura 31.

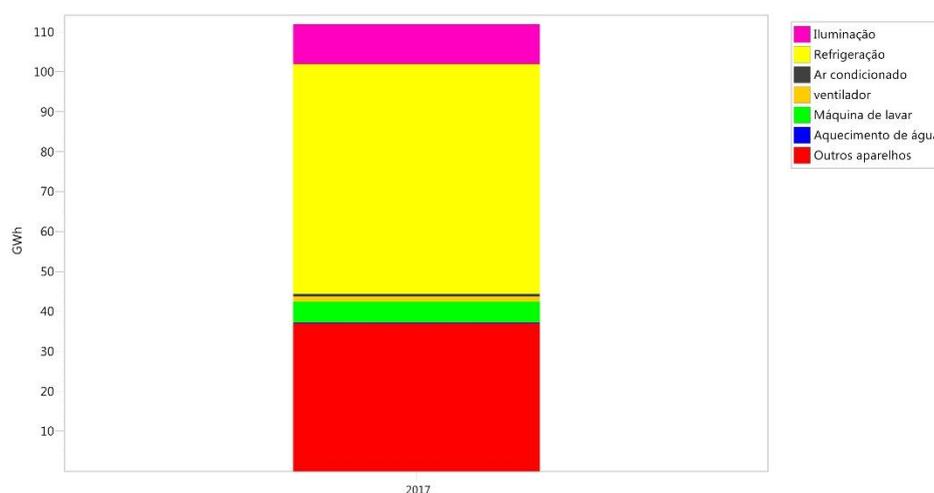


Figura 31 Consumo da energia elétrica no ano de base por usos finais
Fonte: Autor, 2021

De acordo com os resultados pode-se verificar que o consumo total da energia elétrica no setor residencial em 2017 foi de cerca de 111,9 GWh. Apesar de não se dispor dos dados do consumo final para cada uso final o valor total encontrado foi muito próximo dos dados fornecidos por MICE (2020), onde o consumo total da energia elétrica foi de aproximadamente 109 GWh. Isso mostra que as taxas de penetração e as intensidades energéticas inseridas (Apêndice B) estão de acordo com os valores esperados.

A refrigeração se apresenta como o uso final com maior intensidade energética, consumindo cerca de 57,6 GWh, seguido dos outros eletrodomésticos com um consumo de aproximadamente 37,1 GWh. Nesse sentido, eletrodomésticos mais eficientes e comportamentos adequados em relação a utilização de eletrodomésticos se apresentam como grandes potenciais para a redução do consumo de energia elétrica no setor residencial.

O consumo energético no ano de base foi analisado de acordo com os tipos de combustíveis pois, nesse ano não se dispõe dos dados por usos finais. Os principais combustíveis utilizados no setor residencial no ano de base foram a lenha, a eletricidade, o gás, o petróleo e o carvão. A Figura 32 mostra o consumo energético por combustível no setor residencial para o ano de base.

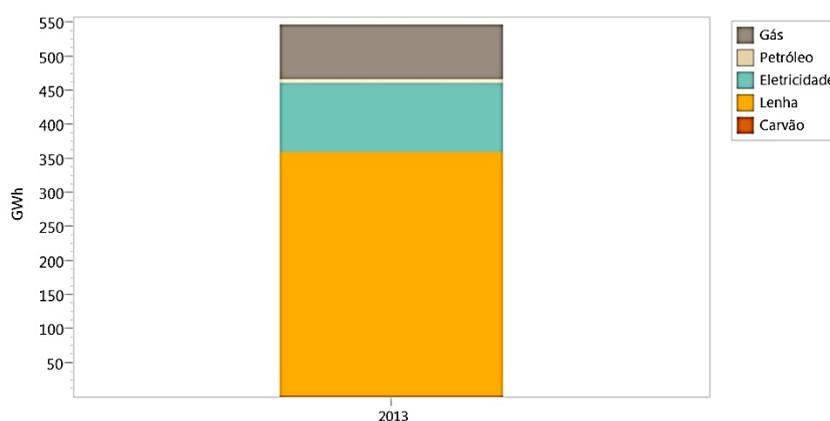


Figura 32: Consumo energético no setor residencial no ano de base por combustível
Fonte: Autor, 2021

Contabilizando todos os combustíveis utilizados no setor residencial o consumo total energético foi de 546 GWh em 2013. A lenha foi o combustível mais utilizado nesse setor, consumindo cerca de 358 GWh. A lenha é utilizada no uso final cocção com maior intensidade nas zonas rurais. Um dos objetivos do governo é reduzir a taxa dos domicílios que utilizam a lenha substituindo por formas mais eficientes de cocção e menos prejudicial à saúde e ao meio ambiente.

5.2 Cenário de Referência

Esse cenário representa um crescimento de demanda energética contínua, com tendências de crescimento e evolução de consumo eficiente dos setores. Existem várias políticas energéticas no planejamento energético elaborado do pelo governo para o setor

energético mas, a maioria dessas políticas não estão especificadas concretamente, ou seja, as taxas e os percentuais de diminuição do consumo e da penetração dos eletrodomésticos não são claramente especificadas, fazendo com que a projeção fosse baseada em históricos de consumo e crescimento dos anos anteriores. A Figura 33 apresenta a evolução do consumo de energia elétrica no setor residencial de 2017 a 2030 para o cenário de Referência.

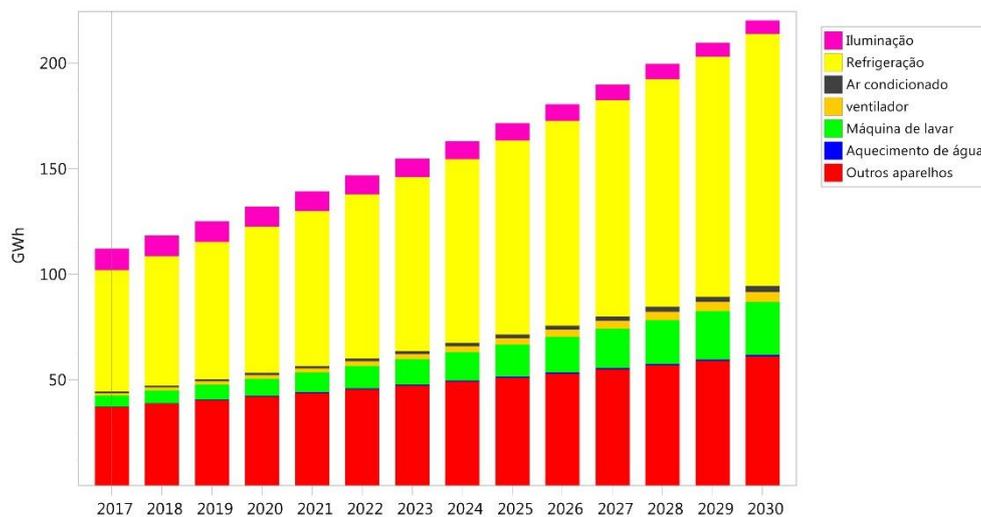


Figura 33: Evolução do consumo de energia elétrica por usos finais para o cenário de Referência

Fonte: Autor, 2021

Como esperado a curva do consumo da energia elétrica total tem uma tendência crescente, pois está relacionada com o crescimento populacional e a evolução do número de domicílios que serão construídos durante o horizonte de planejamento. O consumo da energia elétrica crescerá de 111,9 GWh em 2017 para 222,6 GWh em 2030, contabilizando um aumento percentual de 5% ao ano. A refrigeração continuará sendo o uso final mais intensivo com uma taxa de crescimento anual de 5,4%. A iluminação se apresenta como o único uso final com uma taxa de evolução negativa de -2,9% ao ano, passando de 9,9 GWh em 2013 para 6,6 GWh em 2030. Isso se explica pelo fato das principais políticas energéticas serem focadas na substituição das lâmpadas incandescentes que consomem mais energia por tecnologias de iluminação mais eficientes como a fluorescente e LED.

A Figura 34 representa o consumo energético no setor residencial por tipo de combustível de 2013 a 2030. Semelhante a curva do consumo de eletricidade, o consumo energético também segue uma curva crescente ao longo dos anos.

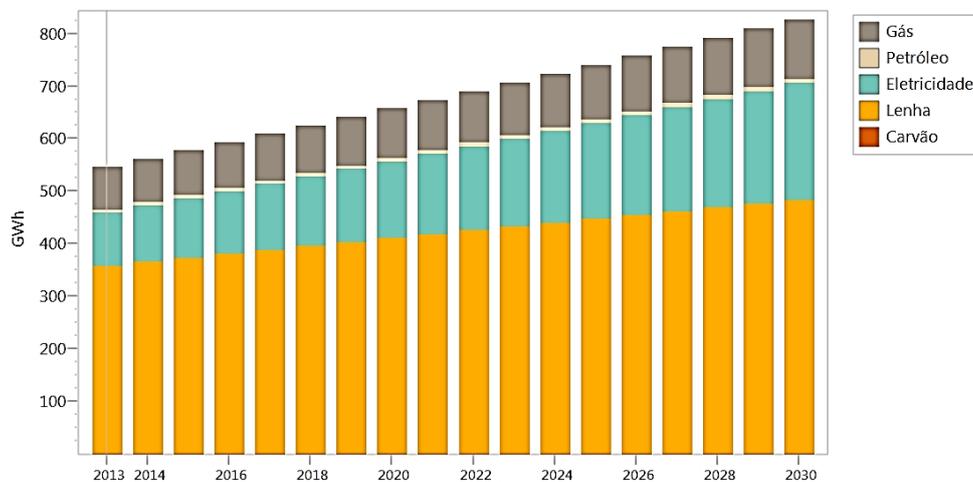


Figura 34: Evolução do consumo energético por combustível para o cenário de Referência
 Fonte: Autor, 2021

A demanda energética total cresceu, em média, 2,3% ao ano, passando de 546 GWh em 2013 para 826,2 GWh em 2030. O consumo dos combustíveis cresceu em média:

- Gás: 1,86% ao ano;
- Petróleo: 1,9% ao ano;
- Eletricidade: 4,5% ao ano;
- Lenha: 1,68% ao ano;
- Carvão: 2% ao ano.

Mesmo a eletricidade apresentando a maior taxa de crescimento, a lenha continuará sendo a fonte de combustível mais utilizada em 2030 caso não se sejam elaborados nenhum planejamento energético detalhado para a erradicação da lenha.

A Figura 35 apresenta uma comparação gráfica entre o consumo energético por combustível no ano de base e o ano final.

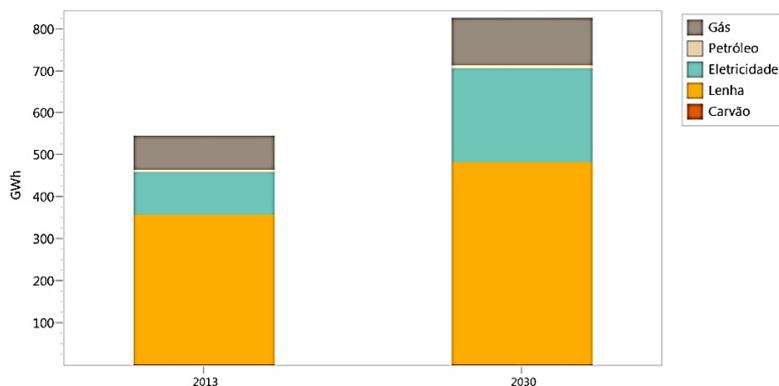


Figura 35: Consumo energético por combustível no ano de base e no ano final para o cenário de Referência

Fonte: Autor, 2021

Como pode ser observado a utilização do carvão e do petróleo continuam sendo residual, entre 2013 e 2030 é previsto que ocorra um aumento de 280,2 GWh de energia, sendo 121 GWh de eletricidade e 125 GWh de lenha.

5.3 Cenário Eficiente

Com as simulações para o cenário Eficiente, o uso final "iluminação", para o qual se propõe 100% de utilização de lâmpadas do tipo LED, é o que indica maior capacidade de economia de energia dentro dos usos finais aqui considerados. A Figura 36 mostra a evolução do consumo de energia elétrica de 2017 a 2030 para o cenário Eficiente, levando em consideração a eficiência dos eletrodomésticos e a promoção do consumo consciente.

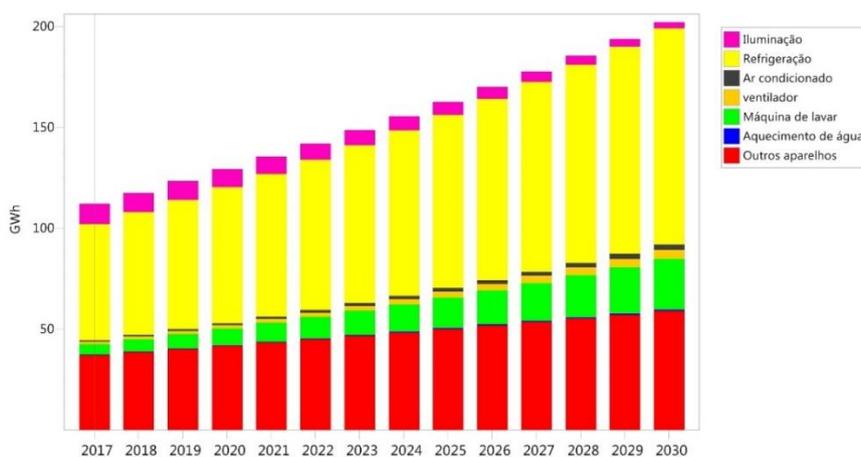


Figura 36: Evolução do consumo de energia elétrica por usos finais para o cenário de Eficiente

Fonte: Autor, 2021

Para esse cenário a evolução do consumo da energia elétrica se dá a uma taxa de 4,3% ao ano, passando de 111,9 GWh para 202 GWh em 2030.

Com relação à evolução da participação do consumo da energia elétrica na composição do consumo de energia do setor residencial espera-se uma redução da proporção de iluminação dada a máxima penetração das lâmpadas de LED nos domicílios, em detrimento das lâmpadas fluorescentes, fazendo com que a taxa de crescimento do uso final iluminação seja de -8,4% ao ano, passando de 9,9 GWh em 2017 para 2,9 GWh em 2030. O uso final refrigeração continuará sendo intensivo crescendo a uma taxa de 4,5% ao ano, mesmo considerando a utilização de equipamentos mais eficientes, pois, foi considerado que até 2030 todos os domicílios terão equipamentos de refrigeração nomeadamente a geladeira e o *freezer*. Espera-se um aumento da taxa de penetração do ar condicionado nos domicílios e como consequência o consumo desse aparelho passará de 0,7 GWh em 2017 para 2,8 GWh em 2030.

A Figura 37 mostra a evolução do consumo energético no setor residencial de 2013 a 2030 para o cenário Eficiente.

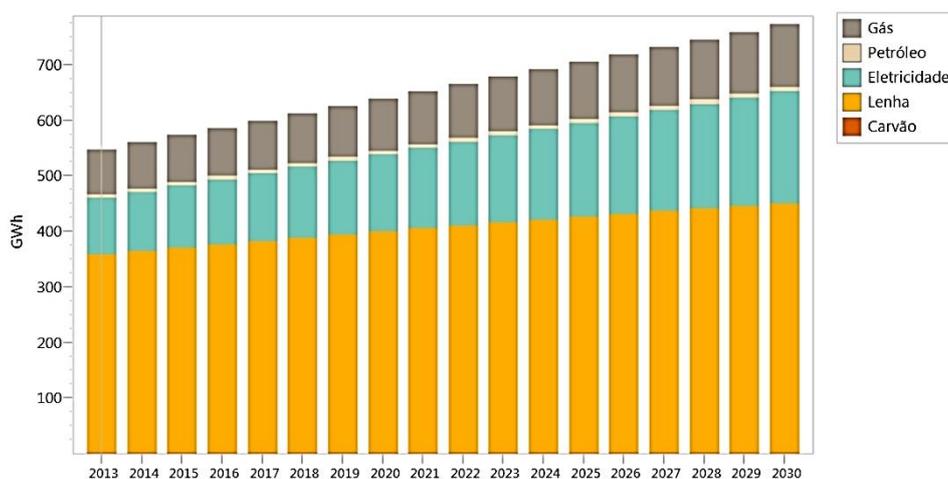


Figura 37: Evolução do consumo energético por combustível para o cenário Eficiente
Fonte: Autor, 2021

Para o cenário Eficiente espera-se um crescimento no consumo energético a uma taxa de 1,9% ao ano, passando de 546 GWh em 2013 para 771 GWh em 2030. O maior consumo continua sendo da lenha passando de 358,1 GWh para 449,2 GWh a uma taxa de crescimento anual de 1,27 % ao ano. O consumo da eletricidade, gás e petróleo cresceram a uma taxa de 3,9%, 1,86% e 1,9% ao ano respectivamente.

A Figura 38 apresenta uma comparação entre o ano de base 2013 e o ano final das projeções 2030.

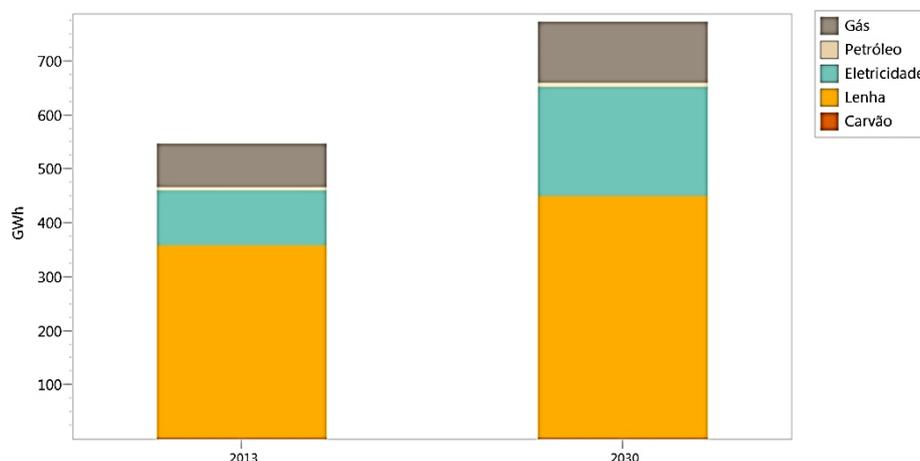


Figura 38: Consumo energético por combustível no ano de base e no ano final para o cenário de Eficiente
Fonte: Autor, 2021

Tanto no ano de base como no ano final a lenha se apresenta como a fonte de energia mais consumida no setor residencial, mesmo com medidas que visam diminuir esse combustível, portanto é necessário que as medidas sejam mais intensificadas pois no que diz respeito a utilização da lenha, é preciso a elaboração de um planejamento energético adequado que visa a eliminação do consumo da lenha principalmente nas zonas rurais onde é utilizado com maior intensidade.

A proposta da elaboração de um cenário Eficiente é mostrar como medidas, sejam elas pequenas ou grandes, podem contribuir significativamente para a diminuição da curva do consumo energético do cenário de Referência.

5.4 Comparação entre os dois cenários

Ao comparar os resultados obtidos para o consumo da energia elétrica para o cenário de Referência e Eficiente, verifica-se que há uma diminuição no consumo da energia elétrica no setor residencial, como consequência das medidas propostas e aplicadas nas projeções, conforme aponta o gráfico da Figura 39.

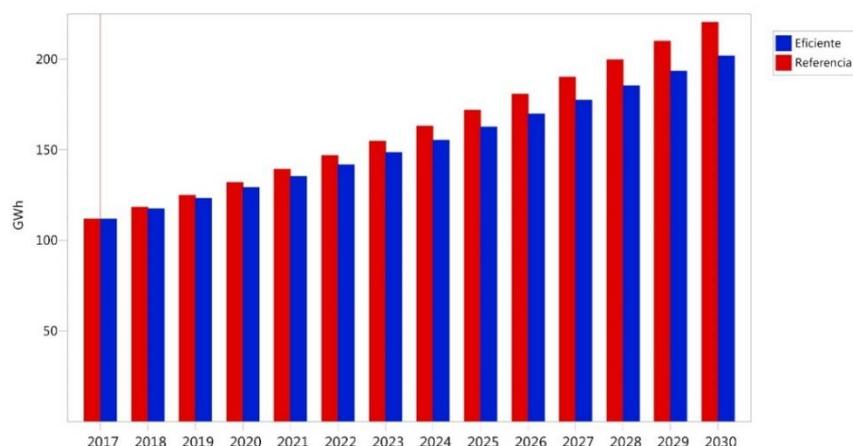


Figura 39: Comparação da evolução de consumo de energia elétrica, de acordo com o cenário de 2017 a 2030

Fonte: Autor, 2021

No cenário de Referência o consumo da energia elétrica crescerá a uma taxa de 5% ao ano, representando um aumento de 110,7 GWh, enquanto no cenário proposto, cenário Eficiente, esse crescimento se dá a uma taxa de 4,3% ao ano, contabilizando um aumento de 90,1 GWh, isso se explica pelo fato das medidas propostas para o cenário Eficiente serem mais intensas. A introdução de eletrodomésticos eficientes, devidamente certificados com selo de eficiência energética e mudanças comportamentais no uso desses equipamentos leva a uma diminuição significativa no consumo da energia elétrica.

O gráfico da Figura 40 apresenta a comparação entre o cenário de Referência e o cenário Eficiente para o consumo de energia elétrica no ano 2030.

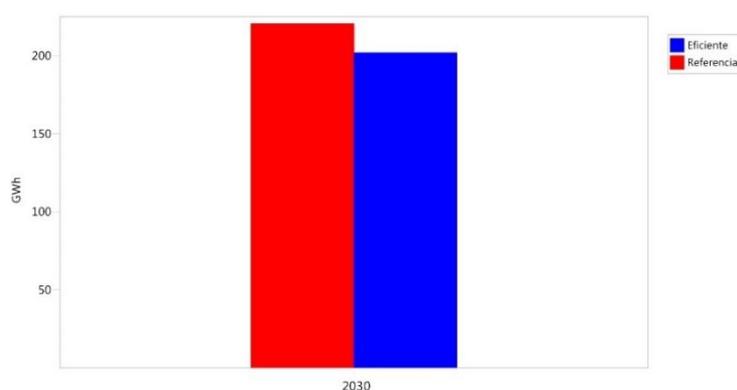


Figura 40: Comparação dos resultados de consumo de energia elétrica, de acordo com o cenário, ano 2030

Fonte: Autor, 2021

O consumo de energia elétrica diminuiu de 222,6 GWh no cenário de Referência para 202 GWh no cenário Eficiente em 2030, representando uma diminuição de 20 GWh nesse ano.

A comparação do consumo de energia elétrica entre o cenário de Referência e o cenário Eficiente por usos finais para o ano 2030 é apresentado no gráfico da Figura 41.

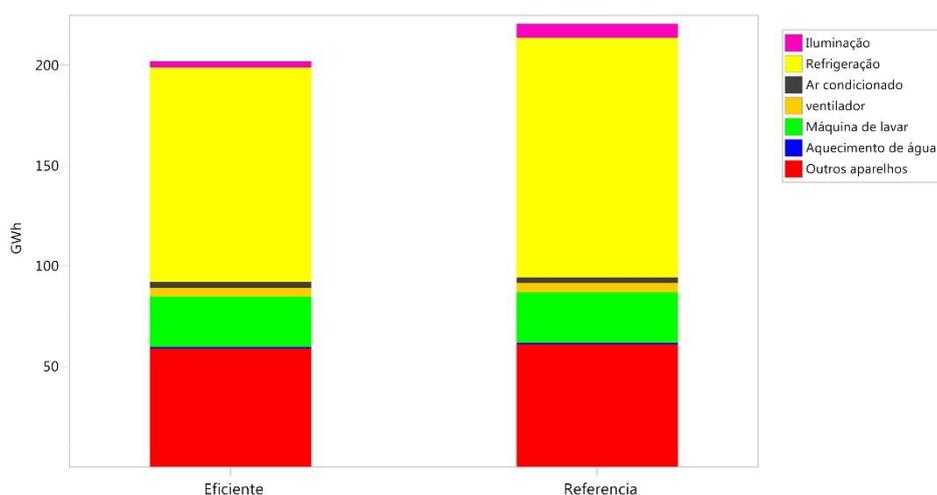


Figura 41: Comparação entre os cenários de consumo de energia elétrica por uso final, ano 2030

Fonte: Autor, 2021

O uso final iluminação apresenta grande potencial para contribuir na diminuição do consumo da energia elétrica, a substituição das lâmpadas incandescentes e fluorescentes por LED's tem mostrado grande redução da intensidade energética nesse uso final. Para o cenário de Referência durante o horizonte de planejamento será economizado 3,3 GWh, enquanto no cenário Eficiente a economia será de 7 GWh no uso final iluminação, menos 3,7 GWh a menos do que o cenário de Referência.

Os outros eletrodomésticos também apresentam um grande potencial de diminuição do consumo passando de 63 GWh no cenário de Referência para 59 GWh no cenário Eficiente. Isso se explica pela introdução de equipamentos mais eficientes e mudanças nos hábitos comportamentais na utilização desses equipamentos. A Tabela 20 mostra detalhadamente a demanda de energia elétrica nos dois cenários de cada uso final no ano 2030 em GWh.

Tabela 20: Demanda de energia elétrica nos dois cenários, por uso final no ano 2030 em GWh

Uso final	Referencia	Eficiente
Iluminação	6,6	2,9
Refrigeração	119,5	107
Ar condicionado	2,8	2,8
Ventilador	4,7	4,4
Máquina de lavar	25,2	25,2
Aquecimento de água	0,8	0,8
Outros aparelhos	63	59
Total	222,6	202

Fonte: Autor, 2021

A partir da Tabela pode ser verificado a diminuição na demanda do cenário de Referência para o cenário Eficiente em cada uso final. Os usos finais que não sofreram nenhuma mudança entre os cenários, foram os que não foram inseridos alterações nem no nível de atividade nem na intensidade energética.

O gráfico da Figura 42 apresenta a evolução do consumo energético para o cenário de Referência e Eficiente de 2013 a 2030, comparando o comportamento do consumo entre esses dois cenários de acordo com as políticas energéticas previstas para cada um.

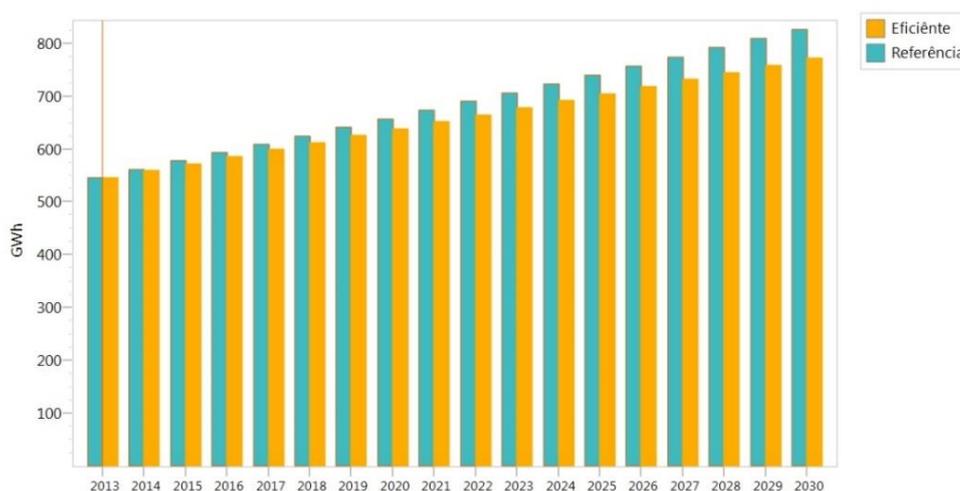


Figura 42: Comparação da evolução de consumo energético, de acordo com o cenário de 2013 a 2030

Fonte: Autor, 2021

Observando o gráfico da figura, pode-se verificar que ocorre uma diminuição do consumo energético de um cenário para outro durante o horizonte de planejamento. Para o cenário de Referência o consumo energético cresce a uma taxa de 2,3% ao ano, representando um aumento ao longo dos anos de 280,2 GWh de energia, enquanto para o

cenário Eficiente essa taxa é de 1,9% ao ano, totalizando um aumento de 225,6 GWh de energia ao longo dos anos. Essa diminuição se explica pela introdução das políticas adotadas para o cenário Eficiente principalmente no consumo da energia elétrica e da lenha.

A Figura 43 representa a comparação do consumo energético no ano 2030 para os dois cenários propostos.

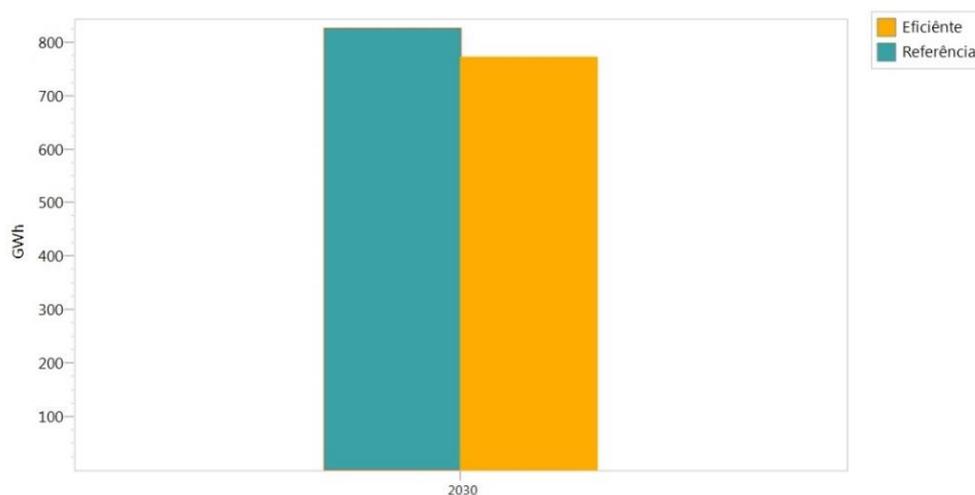


Figura 43: Comparação dos resultados de consumo energético, de acordo com os cenários, ano 2030
Fonte: Autor, 2021

O consumo energético no ano 2030 para o cenário de Referência foi de 826,2 GWh, enquanto para o cenário Eficiente foi de 771,6 GWh, ocorreu uma diminuição de 54,6 GWh de energia de um cenário para outro. Isso se explica pelas medidas adotadas principalmente no consumo da eletricidade.

A Figura 44 apresenta a comparação entre os dois cenários em função dos combustíveis utilizados no setor residencial.

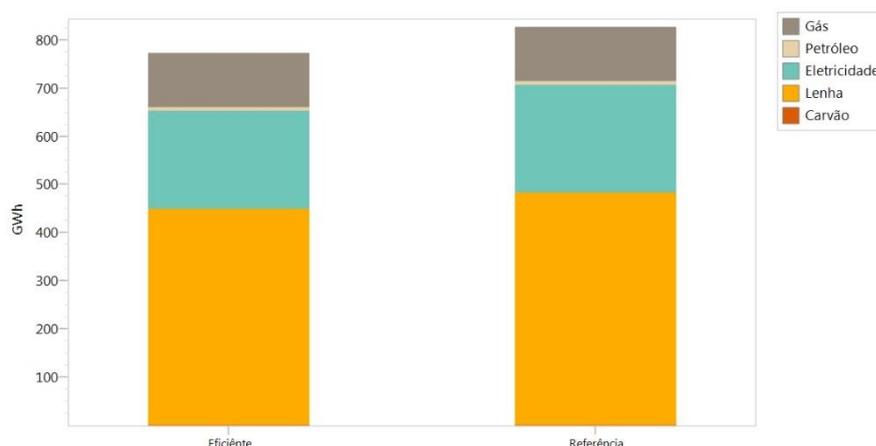


Figura 44: Comparação dos resultados de consumo energético por combustível, de acordo com o cenário, ano 2030

Fonte: Autor, 2021

Como pode ser observado na Figura 48, os combustíveis que apresentaram mudanças entre os cenários foram a lenha e a eletricidade pois, apenas para esses dois combustíveis foram inseridas mudanças no consumo. A eletricidade passou de 222 GWh no cenário de Referência para 202 GWh no cenário eficiente, apresentando uma economia de 22 GWh no ano 2030. Outros resultados das projeções utilizando o *software* LEAP são apresentados no Apêndice C.

5.5 Cenário de Microgeração Fotovoltaica Distribuída

Esse cenário analisou a inserção de sistema solar fotovoltaica nas classes de renda de 12 a 16 salário mínimo e mais de 16 salário mínimo pois, essas duas classes são as que mais consomem energia elétrica visto que quanto maior a classe de renda maior é a posse dos equipamentos e conseqüentemente maior serão os gastos com a energia.

O tamanho da amostra foi determinado considerando que o erro amostral não deveria ultrapassar o limite de 5% e o grau de confiança de 99%, a partir desses dados o tamanho da amostra calculado foi de 663 respostas. Nesse estudo foi utilizado 665 respostas, logo quando o questionário atingiu o tamanho da amostra necessária ele foi encerrado e as respostas analisadas.

Os dados do inquérito mostraram que 6,8% dos domicílios se enquadram nas duas últimas classes de renda consideradas, contabilizando 10372 domicílios. Com isso analisou-se a inserção do sistema fotovoltaico para esses domicílios. Esses domicílios consomem no total 1852690 kWh de energia por mês. Considerando que o sistema

escolhido será conectado à rede, foi considerado que o sistema seria capaz de suprir apenas 60% do consumo dessas residências, a outra parte ficando por conta da rede.

Os dados utilizados para o cálculo da viabilidade econômica estão descritos na Tabela 21.

Custo durante a vida útil do projeto (US\$)	38017195
Economia anual (US\$)	11201363
Consumo total dos domicílios (kWh/mês)	1852690
Preço do kWh (US\$)	0,32
Custo (US\$ /kWh)	0,0684
TMA	10%

Fonte: Autor, 2021

A partir desses dados elaborou-se o fluxo de caixa do projeto. A Tabela 22 apresenta o fluxo de caixa nos 10 primeiros anos do projeto.

Ano	Fluxo de caixa	Valor Presente	Saldo investimento
0	-38017194		-38017194,
1	11201362	10183057	-27834138
2	11201362	9257324	-18576813
3	11201362	8415749	-10161064
4	11201362	7650681	-2510383
5	11201362	6955165	4444782
6	11201362	6322877	10767659
7	11201362	5748070	16515729
8	11201362	5225518	21741248
9	11201362	4750471	26491719
10	11201362	4318610	30810329

Fonte: Autor, 2021

A partir do fluxo de caixa foi calculado os índices de viabilidade econômica do projeto, a Taxa Interna de Retorno, o Valor Presente Líquido e o *Payback*. Os resultados são apresentados na Tabela 23.

TIR	29%
VPL	63658021 US\$
<i>Payback</i>	5 Anos

Fonte: Autor, 2021

A partir dos cálculos realizados verificou-se um retorno de investimento em 5 anos. Sabendo que vida útil de um sistema fotovoltaico é estimada em 25 anos e obtendo como resultado um VPL positivo de 63 milhões de dólares e TIR de 29%, maior do que a TMA, para as condições adotadas o projeto será economicamente viável.

Com esse sistema esses domicílios estariam deixando de consumir diretamente da rede elétrica cerca de 22 GWh de energia anualmente e estariam deixando de emitir 5129 toneladas de CO₂eq por ano. Para o horizonte de planejamento até 2030, seriam economizados cerca de 222 GWh de energia.

6 CONCLUSÃO

Cabo Verde é um país ambientalmente frágil e de poucos recursos naturais de origem fóssil. O arquipélago não possui recursos minerais que possam contribuir para o desenvolvimento de atividades industriais. A grande dependência dos combustíveis fósseis e a falta de recursos energéticos naturais em quantidades significativas, coloca o país mais vulnerável frente às variações do mercado internacional dos derivados do petróleo.

O setor residencial é o maior responsável pela demanda de energia elétrica, representando em uma parcela de cerca de 30% do consumo do total. Logo é de extrema importância que haja a elaboração de um planejamento energético de forma a garantir a continuidade no fornecimento de energia e proporcionar um atendimento da demanda de forma eficiente para as residências. A importância desse estudo surge da necessidade de elaborar projeções de demanda energética, apresentando a sua evolução ao longo do horizonte de planejamento, para auxiliar os gestores energéticos na formulação de políticas energéticas consistentes, que são fundamentais para o desenvolvimento sustentável do país.

A proposta do trabalho foi analisar os diferentes cenários de evolução do consumo energético no setor residencial de Cabo Verde no horizonte de 2017 a 2030 para o consumo da eletricidade e de 2013 a 2030 para o consumo energético total, levando em consideração os usos finais e combustíveis utilizados. Além disso o trabalho se propôs a analisar o cenário de microgeração da energia solar fotovoltaica por classe de renda de forma a analisar os impactos da eficiência energética e da posse de equipamentos elétricos e conhecer as alternativas possíveis a serem implementadas a nível nacional.

O *software* LEAP é uma ferramenta bastante utilizada para análise de políticas energéticas e avaliação de mitigação das mudanças climáticas, que cria diferentes cenários e suporta diversas metodologias de modelos. Ele traça o consumo de energia, produção e extração de recursos em todos os setores da economia e pode criar e avaliar cenários alternativos, comparando as necessidades energéticas com seus custos, benefícios sociais e impactos ambientais.

A projeção da demanda energética no setor residencial de Cabo Verde até 2030 foi elaborada a partir de cenários alternativos, onde cada um teve diferentes objetivos, possibilitando aos tomadores de decisão escolherem qual o caminho seguir para visualizar um desenvolvimento mais sustentável.

Os resultados das projeções permitiram uma análise mais detalhada do consumo energético durante o horizonte de planejamento. A caracterização do ano de base, 2013 para consumo energético e 2017 para o consumo elétrico, permitiu realizar análises iniciais de como está dividida o consumo energético no setor residencial. Uma delas é a dependência da lenha como principal fonte de energia para cocção principalmente nas zonas rurais. Em 2013 o setor residencial consumiu 546 GWh de energia divididos entre a lenha, a eletricidade, o gás, o petróleo e o carvão. Quanto ao consumo da energia elétrica, no ano de base 2017 foi consumido cerca de 111,9 GWh e o uso final que se apresentou como mais intensivo foi a refrigeração consumindo cerca de 57,6 GWh, contabilizando mais da metade do consumo total, 51,5%.

O cenário de Referencia foi o primeiro projetado. Esse cenário buscou incluir as projeções demográficas e medidas que já se encontram no planejamento energético do país, seguindo os objetivos propostos e assumindo as políticas energéticas existentes. Existem várias políticas energéticas no planejamento energético elaborado do pelo governo para o setor energético mas, a maioria dessas políticas não estão especificadas concretamente, fazendo com que as projeções fossem baseadas em históricos de consumo e crescimento dos anos anteriores.

O cenário de referência apresentou uma curva de crescimento contínuo pois, está diretamente relacionada com o crescimento populacional e a evolução do número de domicílios que serão construídos durante o horizonte de planejamento. O consumo da energia elétrica crescerá de 111,9 GWh em 2017 para 222,6 GWh em 2030, contabilizando um aumento percentual de 5% ao ano. A refrigeração continuará sendo o uso final mais intensivo com uma taxa de crescimento anual de 5,4%. A iluminação se apresenta como o único uso final com uma taxa de evolução negativa de -2,9% ao ano, passando de 9,9 GWh em 2013 para 6,6 GWh em 2030 pois, as principais políticas energéticas estão focadas na substituição das lâmpadas ineficientes por tecnologias mais eficientes. A demanda energética total cresceu, em média, 2,3% ao ano, passando de 546 GWh em 2013 para 826,2 GWh em 2030. Mesmo a eletricidade apresentando a maior taxa de crescimento 4,5% ao ano, a lenha continuará sendo a fonte de combustível mais utilizada em 2030 representando um consumo de 222,6 GWh nesse ano. Diante disso, surge a necessidade de elaborar um planejamento energético adequado e detalhado para a erradicação da lenha, pois é uma fonte de energia prejudicial ao meio ambiente e à saúde dos usuários.

O segundo cenário analisado foi um cenário Eficiente, que propôs um consumo energético otimista e sustentável. Esse cenário visa um consumo racional e eficiente de energia. Teve como base o aumento de eficiência energética e a redução da intensidade energética nos principais usos finais do setor residencial, levando em consideração o aumento da tecnologia e melhoria nos hábitos de consumo. Para esse cenário a evolução do consumo da energia elétrica se dá a uma taxa de 4,3% ao ano, passando de 111,9 GWh para 202 GWh em 2030. O uso final "iluminação", para o qual se propõe 100% de utilização de lâmpadas do tipo LED, é o que indica maior capacidade de economia de energia dentro dos usos finais aqui considerados passando de 9,9 GWh em 2017 para 2,9 GWh em 2030. O uso final refrigeração continuará sendo intensivo crescendo a uma taxa de 4,5% ao ano pois, foi considerado que a posse dos equipamentos de refrigeração aumentará no horizonte de planejamento. No que diz respeito ao consumo energético a previsão é que ocorra um crescimento a uma taxa de 1,9% ao ano, passando de 546 GWh em 2013 para 771 GWh em 2030. O maior consumo continua sendo da lenha passando de 358,1 GWh para 449,2 GWh a uma taxa de crescimento anual de 1,27 % ao ano. O consumo da eletricidade, gás e petróleo cresceram a uma taxa de 3,9%, 1,86% e 1,9% ao ano respectivamente.

A elaboração do cenário Eficiente teve como principal objetivo demonstrar como mudanças na escolha de equipamentos e nos hábitos de consumo energético contribuem significativamente para a diminuição do consumo energético em relação ao cenário de Referência. Ao comparar os resultados obtidos para o consumo da energia elétrica entre o cenário de Referência e o cenário Eficiente, constatou-se que há uma diminuição no consumo da energia elétrica no setor residencial, como consequência das medidas propostas e aplicadas nas projeções. No cenário de Referência o consumo da energia elétrica crescerá a uma taxa de 5% ao ano, representando um aumento de 110,7 GWh, enquanto no cenário proposto, cenário Eficiente, esse crescimento se dará a uma taxa de 4,3% ao ano, contabilizando um aumento de 90,1 GWh, comprovando que as medidas de eficiência energética são de extrema importância para a diminuição do consumo energético. Semelhante ao consumo da energia elétrica a curva do consumo da energia total no setor residencial também diminuiu de um cenário para outro passando de 826,2 GWh no cenário de Referência para 771,6 GWh no cenário Eficiente, totalizando uma diminuição de 54,6 GWh em 2030.

O último cenário analisado foi o Cenário de Microgeração Solar Fotovoltaica distribuída nas duas últimas classes de renda, de 12 a 16 salário mínimo e mais de 16

salário mínimo, que são as classes que apresentam maior consumo energético e com maior potencial de viabilidade do sistema. O objetivo foi verificar como a inserção da energia solar fotovoltaica poderia contribuir na redução do consumo de energia elétrica oriunda de centrais termelétricas. Os dados do questionário mostraram que 6,8% dos domicílios se enquadram nas duas últimas classes de renda consideradas, contabilizando 10372 domicílios, que por sua vez consomem em média 1852690 KWh/mês. Considerando um sistema *on grid* capaz de suprir 60% do consumo total desses domicílios, o custo do sistema foi de 38 milhões de dólares. Com a economia anual do consumo proporcionado pelo sistema, o investimento terá um payback de 5 anos e uma TIR de 29%, valor esse maior do que a TMA adotada, de 10% ao ano, comprovando que o investimento será atrativo. Com esse sistema esses domicílios estariam deixando de consumir diretamente da rede elétrica cerca de 22 GWh de energia anualmente e estariam deixando de emitir 5129 toneladas de CO₂eq por ano. Para o horizonte de planejamento até 2030, seriam economizados cerca de 222 GWh de energia.

Os resultados obtidos são fortemente influenciados pelas propostas adotadas. Hoje não se tem o conhecimento de quais os tipos de usos finais, combustíveis e tecnologias existirão futuramente, fazendo com que o conhecimento da evolução do consumo energético seja condicionado pelos pressupostos adotados. Contudo vale é importante frisar que as decisões tomadas agora serão muito mais significativas se se escolher uma estratégia semelhante à do cenário Eficiente pois, neste cenário é visível que o parâmetro intensidade energética, produzirá resultados muito inferiores aos atribuídos para o cenário Referência.

A inserção de energias renováveis na produção de eletricidade para além de contribuir significativamente para a diversificação da matriz energética do país que apresenta grande potencial para instalações de projetos desse género, principalmente as fontes eólica e solar, também contribui para a diminuição de emissões de gases de efeito de estufa. A grande dependência dos combustíveis fósseis oriundos do mercado externo faz com que a tarifa energética seja elevada aumentando o custo do kWh de energia. Para além disso um desenvolvimento sustentável precisa estar na base das políticas energéticas praticadas no país, por isso que é extrema importância a elaboração de um planejamento energético adequado de forma que os gestores energéticos tenham uma base sólida para as tomadas de decisões.

Como mencionado anteriormente, o levantamento de dados foi uma difícil etapa durante a realização deste estudo. Em função da indisponibilidade de algumas

informações recomenda-se para trabalhos futuros a aplicação desta metodologia com dados mais atualizados e completos, incluindo os outros setores de consumo, transporte, indústria, atividade económica, iluminação pública, turismo, etc. Dessa forma possibilita a visualização do panorama geral do consumo energético ao longo dos anos facilitando na elaboração de planejamento energético.

Sugere para trabalhos futuros a elaboração dessa metodologia utilizando outros *softwares* para a projeção da demanda energética, de forma a comparar os resultados obtidos, visto que ainda não existem trabalhos dessa natureza em que aborda o consumo energético no setor residencial, permitindo a elaboração de uma base de dados credível.

Também seria um tópico interessante para ser desenvolvido em futuros trabalhos um estudo mais específico sobre a microgeração de energia solar fotovoltaica no setor residencial, abordando de forma detalhada todas as etapas, desde o financiamento do projeto até a instalação.

REFERÊNCIAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas da Energia Elétrica do Brasil**. Brasília – DF, 2005. 2ª Edição.

African Energy Commission (AFREC). African Energy Efficiency for Residential Sector. 2019

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Banco de Informações de Geração**: BIG. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf) >. Acesso em: 10 de ago. 2020.

Agenda de Ação de Cabo Verde (Cabo Verde). **Sustainable Energy For All**, 2015. 62 p. Disponível em: http://www.se4all.org/sites/default/files/Cape_Verde_AA_PT_Released.pdf. Acesso em: 03 abr. 2020.

ALEIXO, Márcio Vinícius. **Projeção Da Demanda de Energia Elétrica da Cidade de Londrina**. 2015. 117 p. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2015.

AMBIENTECPLP. **Ambiente CPLP- Cabo Verde**. Disponível em: http://www.ambientecplp.org/cabo_verde.aspx. Acesso em: 27 abr. 2020.

AROUCA, M.C. **Análise da demanda de energia no setor residencial no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Programa de Engenharia Nuclear e Planejamento Energético. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 1982.

ASSAF NETO, Alexandre. **Matemática Financeira e Suas Aplicações**. 11. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2009.

BAJAY, Sérgio Valdir. **Desafios metodológicos e organizacionais no planejamento da expansão do setor elétrico brasileiro e na elaboração das projeções da matriz energética brasileira**. In: 5th Latin-American Congress: Electricity Generation and Transmission. São Pedro, 2003. Disponível em: <http://www.seeds.usp.br/pir/arquivos/congressos/CLAGTEE2003/Papers/IPRSIES%20B-024.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2020.

BARRUNCHO, Joana Burding. **Modelização e Análise da Rede Elétrica da Ilha de Santiago em Cabo Verde**. 2016. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2016. Cap. 1. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/20685/1/Barruncho_2016.pdf. Acesso em: 07 abr. 2020.

BERMANN, Célio. Crise Ambiental e as Energias Renováveis. **Cienciaecultura**, São Paulo, v. 60, n. 3, p.20-29, jun. 2018. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v60n3/a10v60n3.pdf>. Acesso em: 24 set. 2019.

CABO VERDE. Boletim Oficial da República de Cabo Verde, B.O. nº01, I Série, de 03 de Fevereiro de 2012, decreto-lei nº 07/2012. Estabelece as disposições relativas ao Plano Estratégico Sectorial de Energias Renováveis (PESER).

CABO VERDE. Lei nº 14/2018, de 07 de março de 2018. **Boletim Oficial**. Cabo Verde, 20 mar. 2018. p. 7-24. Disponível em: http://ofcv.cv/images/Documentos-PDFs/Legislacao/bo_07-03-2018_16.pdf. Acesso em: 27 abr. 2020.

CABO VERDE. Ministerio da Economia Crescimento e Competitividade. Direcção Geral da Industria e Energia. **Estratégia Nacional para Energias Domesticas em Cabo Verde. 2005**. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/38681982.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2020.

CARDOSO, Edmilson Mendes. **Simulação de sistemas energéticos isolados**. Ilha de Santiago. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2011. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/15568454.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2020.

CELESTINO, Nuno Miguel Perdigão. **Modelação e otimização do sistema elétrico Português com desagregação regional**. 2014. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Técnico de Lisboa, Lisboa, 2014.

CUNHA, Jorge Fernandes. **Energia Oceânica**. 2017. Direcção de Marcas e Patentes. 2017 Disponível em: <https://inpi.justica.gov.pt/Portals/6/PDF%20INPI/Eco-tecnologias/Energia%20Ocea%CC%82nica.pdf?ver=2017-08-28-110417-620>. Acesso em: 01 ago. 2021.

DEUTSCHE WELLE. **Dessalinização de água com tecnologia europeia em Cabo Verde**. 2017. Elaborado por Cristiane Vieira Teixeira. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-002/dessaliniza%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%A1gua-com-tecnologia-europeia-em-cabo-verde/g-39467716>. Acesso em: 27 abr. 2020.

DGIE – Direcção Geral da Industria e Energia; CILSS, Comité Inter – Estados de Luta Contra a Seca no Sahel- Programa Regional de Promoção das Energias Domesticas e Alternativas no Sahel (P.R.E.D.A.S): **Estratégia Nacional para Energias Domesticas em Cabo Verde**. Praia, 2005.

ELEKTRO (Org.). Eficiência energética: fundamentos e aplicações. Campinas: Elektro, 2012. 315 p.

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. **Simulador de potência contratada**. Disponível em: <https://simulador.potencia.erse.pt/>. Acesso em: 20 abr. 2021.

FERREIRA, João Filipe Lima. **Planeamento Energético de Longo Prazo aplicado ao Cenário Nacional com elevada penetração de Energias Renováveis**. 2016. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Universidade do Porto, Porto, 2016.

FERREIRA, Lúgia Évora. **Cabo Verde**. Lisboa: Universidade Aberta, 1997. 73 p. Disponível em: <https://repositorioaberto.uab.pt/bitstream/10400.2/5273/4/Cabo%20Verde.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2020.

GALDINO, Marco A. E. et al. O Contexto das Energias Renováveis no Brasil. **Revista da Direng**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 5, p.17-25, out. 2017. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Direng.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2020.

Gesto Energy Solutions (CABO VERDE) (2011), 2011. Plano energético renovável Cabo Verde, Algés, Lisboa: Gesto Energia S.A..

Gesto Energy Solutions (CABO VERDE) (2015). Agenda de Transformação Sustentável para Todos em Cabo Verde, Algés, Lisboa: Gesto Energia S.A..

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energias renováveis: um futuro sustentável. **Revista USP**, São Paulo, v. 1, n. 72, p.6-15, fev. 2007.

INTERACADEMY COUNCIL. **Lighting the way:** Toward a sustainable energy future. Amsterdã: Interacademy Council, 2007. 208 p.

INE – Instituto Nacional de Estatística. **Anuário Estatístico Cabo Verde 2016**. 2017. Disponível em: <http://ine.cv/wp-content/uploads/2017/12/aecv-2017-versao-final-1.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2020.

INE – Instituto Nacional de Estatística. **Estatística das Famílias e Condições de Vida:** Inquérito Multiobjectivo Contínuo 2017. 2018. Disponível em: http://ine.cv/wp-content/uploads/2018/06/imc-2017-condicoes-de-vida_site-1.pdf. Acesso em: 03 jun. 2020.

INE – Instituto Nacional de Estatística. **Estatística das Famílias e Condições de Vida:** Inquérito Multiobjectivo Contínuo 2019. 2020. Disponível em: <http://ine.cv/publicacoes/estatisticas-das-familias-condicoes-vida-inquerito-multi-objectivo-contínuo-2019/>. Acesso em: 12 jul. 2020.

INE – Instituto Nacional de Estatística. Anuário Estatístico Cabo Verde 2017. 2018. Disponível em: <http://ine.cv/wp-content/uploads/2017/12/aecv-2017-versao-final-1.pdf>. Acesso em: 27 maio 2019.

International Energy Agency (IEA). **Onshore Wind**, IEA, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/onshore-wind>. Acesso em: 10 ago. 2020.

International Energy Agency (IEA). **Renováveis 2019**, IEA, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2019>. Acesso em: 25 jun. 2020.

Internacional Renewable Energy Agency (IRENA). **Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050**. Abu Dhabi. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>. Acesso em: 29 jun. 2020.

International Renewable Energy Agency (IRENA). **A Path to Prosperity: Renewable Energy For Islands**. Marrocos, 2016. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2015/Jun/A-path-to-prosperity-Renewable-energy-for-islands>. Acesso em: 27 maio 2020.

Internacional Renewable Energy Agency (IRENA). **Renewable Power Generation Costs in 2019**. Abu Dhabi. Disponível em: <https://irena.org/publications/2019/May/Renewable-power-generation-costs-in-2018f>. Acesso em: 25 jun. 2020.

Internacional Renewable Energy Agency (IRENA). **Renewable capacity statistics 2020**. Abu Dhabi. Disponível em: <https://www.irena.org/>

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2020.pdf](#). Acesso em: 26 jun. 2020.

Internacional Renewable Energy Agency (IRENA). **Renewable Power Generation Costs in 2020**. Abu Dhabi Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf. Acesso em: 26 jun. 2020.

LEVIN, Jack. **Estatística Aplicada a Ciências Humanas**. 2a. Ed. São Paulo: Editora Harbra Ltda, 1987.

J.J.C.S. Santos, J.C.E. Palacio, A.M.M. Reyes, M. Carvalho, A.J.R. Freire, M. A. Barone, Chapter 12 - Concentrating Solar Power, in: I. Yahyaoui (Ed.), *Advances in Renewable Energies and Power Technologies*, Elsevier, 2018, pp. 373–402.

MARUYAMA, Flávio Minoru. **Arquitetura do Plano Preferencial de Recursos para o Setor Elétrico no Planejamento Integrado de Recursos Energéticos**. 2013. 288 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Ministério da Agricultura e Ambiente (MAA). Cabo Verde 2020. **Update to the first Nationally Determined Contribution (NDC)**. 2021. Disponível em: https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Cabo%20Verde%20First/Cabo%20Verde_NDC%20Update%202021.pdf. Acesso em: 17 maio 2021.

Ministério da Economia, Crescimento e Competitividade (MECC). **Estratégia Nacional para Energias Domésticas em Cabo Verde**. 2005. Disponível em: <http://www.portaldoconhecimento.gov.cv/bitstream/10961/3810/1/Estrat%C3%A9gia%20Nacional%20para%20Energias%20Domesticas%20em%20Cabo%20Verde.pdf>. Acesso em: 28 maio 2020.

Ministério da Indústria Comércio e Energia (MICE). **Energias Renováveis Cabo Verde**. 2018. Disponível em: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/cvi151600.pdf>. Acesso em: 28 maio 2020.

Ministério da Indústria Comércio e Energia (MICE). Direção Nacional de Serviços de Energia. 2020.

Ministério do Turismo, Indústria e Energia (MTIE) (2011). **Cabo Verde 50% Renovável: Um caminho até 2020**.

Ministério do Turismo, Indústria e Energia (MTIE) (2015). **Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis: Período [2015-2020/2030]**.

MONTEIRO, Ana David. **O Impacto das energias renováveis na economia dos países emergentes: o caso de Cabo Verde**. 77 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Empresas) - Instituto Universitário de Lisboa, Lisboa, 2012.

Nakata T. Energy-economic models and the environment. **Progress in Energy and Combustion Science** 2004;30(4):417–75.

NEVES, Danielson Jorge Delgado et al. General aspects of the climate in the Cabo verde archipelago. **Ambiência**, Guarapuava, v. 13, n. 1, p.59-73, 01 abr. 2017.

OLIVEIRA, Mário Henrique da Fonseca. **Avaliação Económico-Financeira de Investimentos sob Condições de Incerteza**: Uma comparação entre o método Monte de Carlo e o VPL Fuzzy. 2008. 231 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2008.

PEREIRA JR, Amaro O. **Matriz energética do estado do Rio de Janeiro: 2017-2031**. Rio de Janeiro: Synergia, 2018. 136 p.

PEREIRA, José Augusto Varela Mendes. **Avaliação de Projetos Energias Renováveis e Eficiência Energética em Cabo Verde**. Algarve: Universidade do Algarve, 2015. 87 p.

Plano Energético Renovável Cabo Verde (PERCV) (2011). Disponível em: <http://www.ecowrex.org/system/files/documents/2011_plano-energetico-renovavelcabo-verde-plano-investimentos_gesto-energia.pdf>. Acesso em: 27 de mai. 2020.

PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética. 2015

PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis: Período [2015-2020/2030]. 2015

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Human Development Indicators**. 2018. Disponível em: <http://hdr.undp.org/en/countries/profiles/CPV>. Acesso em: 18 mai. 2020.

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Cape Verde Appliances & Building Energy-Efficiency Project (CABEEP)** 2015. Disponível em: <https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/CPV/PIMS%204996%20-%20UNDP%20GEF%20Cape%20Verde%20Project%20Final.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2020.

POLIQUEZI NETO, Augusto. **Metodologia para Planejamento Energético Estadual de Longo Prazo**. 2013. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pósgraduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/34696/R%20-%20D%20-%20AUGUSTO%20POLIQUEZI%20NETO.pdf?sequence=1>. Acesso em: 06 ago. 2020.

PSH – **Perfil do Setor de Habitação**, Cabo Verde 2ª Edição. Ministério das Infraestruturas, Ordenamento do Território e Habitação. Disponível em: <https://unhabitat.org/perfil-do-setor-de-habita%C3%A7%C3%A3o-cabo-verde>. Acesso em: 06 fev. 202

ROCHA JUNIOR, Eloy de Paula. **Metodologia para Previsão de Demanda Baseada em Cenários Utilizando Densidade de Carga e Temperatura**. 2011. 117 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/29787/R%20-%20D%20-%20ELOY%20DE%20PAULA%20ROCHA%20JUNIOR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 17 jul. 2020.

SEI - Stockholm Environment Institute – LEAP - www.seib.org/leap/

SABINO, Lidiana Rossi Fortes. **Inserção de energias renováveis complementares na matriz energética de cabo verde para o desenvolvimento do setor elétrico: estudo do caso da energia eólica.** 2016. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energias, UNILAB, Acarape, 2016.

SABINO, Lidiana Rossi Fortes. **Proposta de Planejamento para o Setor Elétrico de Cabo Verde.** 2018. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Energias, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2018.

SANTOS, A. H. M. ; CRUZ, R.A.P. ; MAGALHÃES, R.N. . **As potencialidades e restrições do LEAP para o desenvolvimento da matriz energética.** In: VII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2010, São Paulo. VII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2010.

SCARI, M. E. **Estudo do Consumo de Energia elétrica no Setor Residencial de Belo Horizonte.** Dissertação de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares - UFMG, 2011. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/MBAM-8PQMKN/1/disserta_o_scari2011.pdf. Acesso em: 05 ago. 2020.

SILVA, André Luiz Carvalhal da. **Matemática Financeira Aplicada.** 3. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2010.

SILVA, Marcos Vinícius Miranda da, BERMANN, Célio. **O Planejamento Energético como Ferramenta de Auxílio às Tomadas de Decisão sobre a Oferta de Energia na Zona Rural.** AGRENER 2002 – IV Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas: 2002. Disponível em: http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/eletrificacao_rural/tc_07.pdf. Acesso em: 05 ago. 2020.

TAKENAKA, Fátima Oliveira. **Avaliação do Potencial de Geração de Energia Solar Fotovoltaica na Cobertura das Edificações do Campus i - Cefet- Mg, Interligado à Rede Elétrica.** 2010. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: https://fotovoltaica.ufsc.br/Dissertacoes/Dissertacao_Fatima_Oliveira_Takenaka.pdf. Acesso em: 20 abr. 2020.

VEIGA, Bruno Alexandre. **Avaliação dinâmica da rede elétrica e qualidade de energia em sistemas isolados: O caso de estudo da ilha de Santiago – Cabo Verde.** 2018. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Energia e do Ambiente, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2018. Disponível em: http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/36743/1/ulfc125206_tm_Bruno_Veiga.pdf. Acesso em: 03 mar. 2020.

VIANA, Fabiana Gama. **Relacionamento planejadores energéticos e jornalistas: a análise da crise energética de 2001.** 2004. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento de Sistemas Energéticos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/264723/1/Viana_FabianaGama_M.pdf. Acesso em: 05 ago. 2020.

WORLD BANK. **Acesso universal a energia:** muito mais que eletricidade. 2019. Disponível em: <https://www.worldbank.org/pt/news/feature/2018/05/18/sustainable-development-goal-7-energy-access-all>. Acesso em: 01 mar. 2020.

APÊNDICE A

Consumo Energético no Setor Residencial

Formulário totalmente anônimo.

Esse formulário destina-se a um inquérito às famílias sobre o consumo energético e uso de equipamentos elétricos eficientes no setor residencial em Cabo Verde, com o objetivo de obter dados para realização de dissertação de mestrado.

Deverá ser respondido apenas por um membro de cada família.

*Obrigatório

Ilha de residência *

- Santo Antão
- São Vicente
- São Nicolau
- Sal
- Boa Vista
- Maio
- Santiago
- Fogo
- Brava

Você mora em qual cidade? *

Sua resposta _____

Você mora em qual zona? *

Sua resposta _____

Quantas pessoas moram na sua residência? *

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- Outro: _____

Você faz parte do cadastro social único da câmara municipal do seu município? *

- Sim
- Não
- Não sei

Renda mensal da família *

- Até 13.000 CVE
- Entre 13.000 e 39.000 CVE
- Entre 39.000 e 78.000 CVE
- Entre 78.000 e 156.000 CVE
- Entre 156.000 e 208.000 CVE
- Maior do que 208.000 CVE
- Sem renda

Qual a média do valor pago pela energia elétrica (em CVE)? *

- 1.000 CVE
- Entre 1.000 e 3.000 CVE
- Entre 3.000 e 6.000 CVE
- Entre 6.000 e 9.000 CVE
- Entre 9.000 e 12.000 CVE
- Maior do que 12.000 CVE

Quantidade de lâmpadas na sua residência *

- Até 2 lâmpadas
- Entre 2 e 4
- Entre 4 e 6
- Entre 6 e 8
- Entre 8 e 10
- Entre 10 e 12
- Entre 12 e 14
- Mais do que 14

Tipos de lâmpadas utilizada *

- Incandescente
- Fluorescente
- LED (Diodo Emissor de Luz)
- Outro: _____

Quais os equipamentos elétricos existem na sua residência ? *

- Refrigerífico
- Ar condicionado
- Arca congeladora
- Televisão
- Ferro Elétrico
- Microondas
- Ventoinha
- Máquina de lavar
- Chuveiro Elétrico
- Forno Elétrico
- Outro: _____

Na sua residência utilizam equipamentos com selo de eficiência energética ? *

- Sim
- Não
- Não sei

Utilizarias o fogão solar para cozinhar os alimentos? *

- Sim
- Não
- Não sei

Já ouviu falar em energia solar fotovoltaica?

- Sim
- Não
- Não sei

Energia Solar Fotovoltaica

Você utilizaria a energia solar fotovoltaica para produzir eletricidade na sua residência?

- Sim
- Não
- Talvez

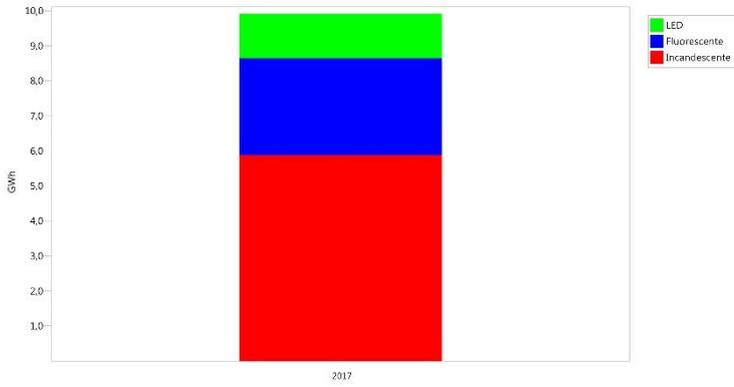
APÊNDICE B

Uso final	Tecnologia	Ano de base			Referencia			Eficiente		
		Porcentagem	Niv. ativi. (%)	Int. energ. (kWh)	Porcentagem	Niv. ativi.(%)	Int. energ. (kWh)	Porcentagem	Niv. ativi.(%)	Int. energ.(kWh)
Iluminação	Led	89,6	47,7	21,6	100	90	21,6 kWh -1,5%	100	90	21,6 kWh -2%
	Fluorescente		48,4	46,8		10	46,8 kWh -1%		10	46,8 kWh -1,5%
	Incandescente		33,4	144		0	144		0	144
Refrigeração	Frigorífico	74,7	74,7	540	74,7	74,7	540 kWh -0,5%	74,7	74,7	540 kWh -1%
	Arca congeladora		17,9	900		17,9	900		17,9	900
Ar condicionado	Ar condicionado	2,7	2,6	7200	2,7	4,6	7200 kWh -0,5%	2,7	4,6	7200 kWh -1%
Ventilador	Ventilador	27,9	27,9	115	27,9	46	115	27,9	46	115 -0,5%
Máquina de lavar	Máquina de lavar	42	42	216	42	78	216	42	78	216 -0,5%
Aquec. de água	Esquentador	8,1	8,1	270	8,1	12	270	8,1	12	270 -0,5%
Outros aparelhos	Ferro de engomar	100	69,5	134	100	100	134	100	100	134 -0,5%
	Aspirador		3	190		5	190		5	190-0,5
	Máquina de costura		3,6	21,6		6	21,6		6	21,6 -0,5
	Microondas		22	89,1		36	89,1		36	89,1 -0,5
	Tv		81,1	180		100	180 kWh -1%		100	180 kWh -1,5%

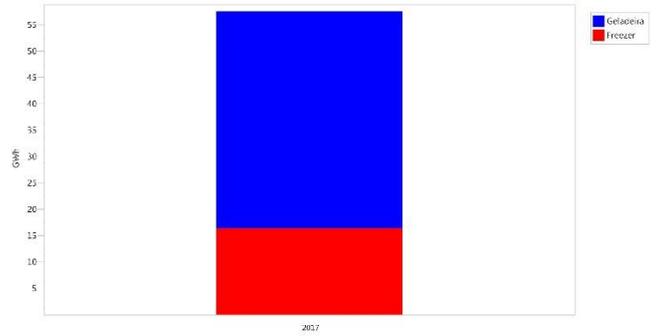
APÊNDICE C

Consumo Energia Elétrica: Ano de base

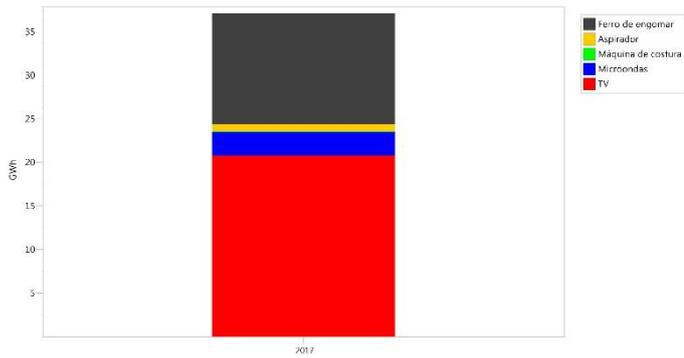
Iluminação



Refrigeração

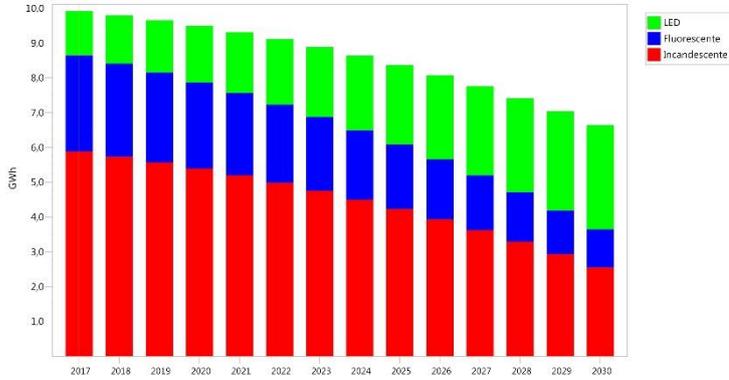


Outros Equipamentos

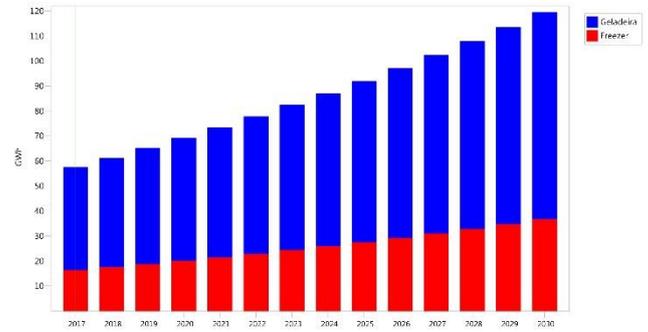


Consumo Energia Elétrica: Cenário de Referência

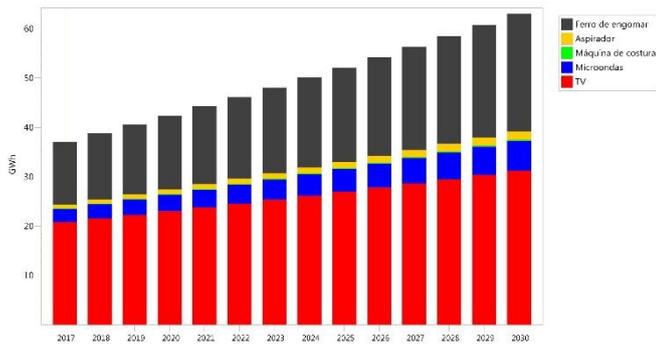
Iluminação



Refrigeração

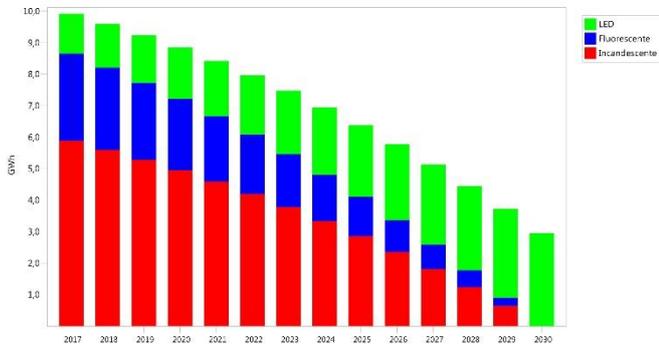


Outros Equipamentos

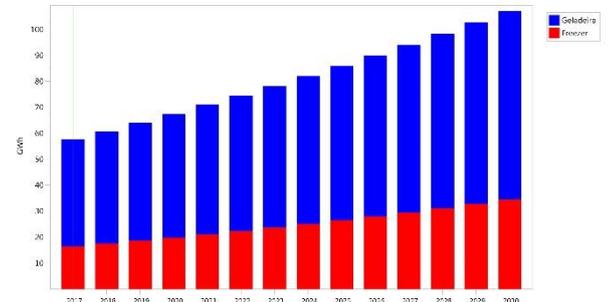


Consumo Energia Elétrica: Cenário Eficiente

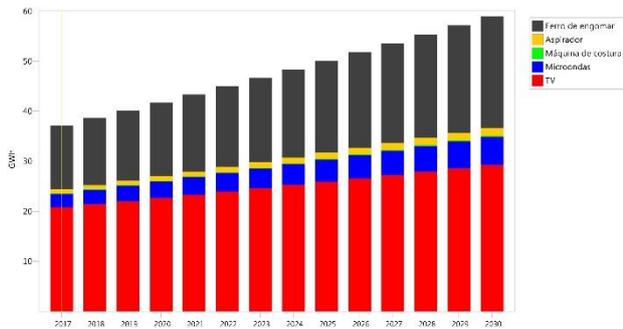
Iluminação



Refrigeração

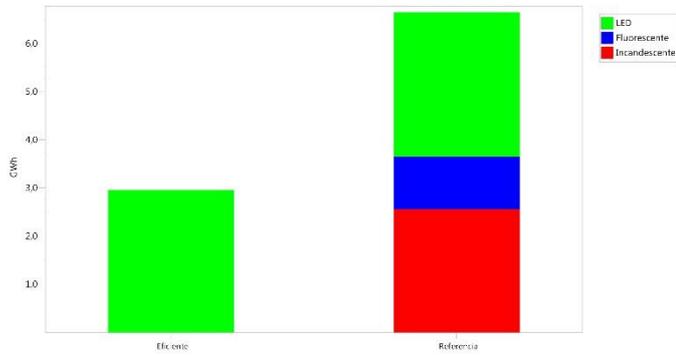


Outros Equipamentos

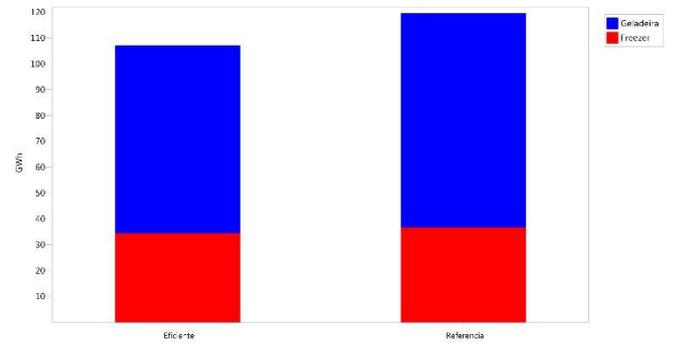


Comparação entre os dois cenários: Energia Elétrica

Iluminação



Refrigeração



Outros Equipamentos

