



Dilas Osório Duarte
Fortes

Edifícios de Balanço Energético Nulo (ZEBs) em
Comunidades Isoladas



**Dilas Osório Duarte
Fortes**

**Edifícios de Balanço Energético Nulo (ZEBs) em
Comunidades Isoladas**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestrado em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de Nelson Amadeu Dias Martins, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

O júri

Presidente

Prof. Doutor Joaquim Alexandre Mendes de Pinho da Cruz
Professor Auxiliar Convidado da Universidade de Aveiro

Vogais

Prof.^a Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro (arguente)

Prof. Doutor Nelson Amadeu Dias Martins
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (orientador)

Agradecimentos

Ao professor Nelson Martins, pela excelente orientação científica, por toda motivação, apoios, ensinamentos técnicos, sugestões e disponibilidade.

A todos os professores do departamento da engenharia mecânica da Universidade de Aveiro pelos conhecimentos transmitidos durante estes anos. Um agradecimento muito especial à professora Mónica Oliveira, pelo apoio e conselhos que foram muito úteis ao longo deste percurso.

Ao Eng. Bruno Lamas, Eng. Edmilson Cardoso e ao Arq. Albertino, pelas trocas de conhecimentos.

Ao Serviços de Ação Social da Universidade de Aveiro pela ajuda e pelo auxílio oferecido durante estes anos.

À minha mãe, Gracinda Duarte, pelo voto de confiança e apoio dado ao longo de todo o percurso académico e não só. Hoje estou aqui, graças ao seu empenho.

Aos meus irmãos Ivanílson Fortes e Elvis Fortes.

Aos meus dois grandes amigos Eng.^a Ana Matos e Eng. Pedro Pinheiro, pela amizade, por terem estado sempre comigo em todo o meu percurso e em todos os momentos. Nunca vos esquecerei, todo esse percurso tornou-se mais fácil graças à vossa eterna amizade.

À todos os amigos, familiares que me apoiaram direta ou indiretamente neste percurso. Um agradecimento especialíssimo à Neusa Foios, Eng. Emanuel Lopes, Prof. Luís Fernandes, Ulisses Gomes, Natalício Martins.

Por fim, mas não menos importantes, à todos que não mencionei devido a brevidade exigida.

Palavras-chave

ZEB; Energia renováveis; Simulação; Medidas Passivas; Eficiência energética

Resumo

Esta dissertação tem como principal objetivo analisar a implementação de *ZEB* em comunidades isoladas, mais concretamente em Cabo Verde. Este país é constituído por ilhas com constrangimentos adversos (geográficos, falta de recursos energéticos convencionais, etc) e com grandes potencialidades de aproveitamento de energias renováveis.

De uma forma geral, um edifício de balanço energético nulo é definido por ter um desempenho energético muito elevado, onde as necessidades energéticas deverão ser supridas por energia provenientes de fontes renováveis.

No desenvolvimento do trabalho foram utilizadas ferramentas de simulação dinâmica (*DesignBuilder*) e de dimensionamento de sistemas energéticos (*HOMER* e *RETScreen*). Considerou-se, os edifícios tradicionais da zona urbana e rural de Cabo Verde, sobre os quais foram efetuadas simulações dinâmicas, utilizando para o efeito os dados climáticos de Dakar, uma vez que o clima deste país é aproximado àquele que se faz sentir no arquipélago de Cabo Verde. A utilização destes dados justifica-se devido à inexistência de dados climáticos relativos a Cabo Verde na base dados do *DesignBuilder*. Para o dimensionamento do sistema de produção de energia renovável foram utilizados dados da ilha do Santiago.

Para este estudo, aplicou-se medidas de eficiência para a redução do consumo energético nos edifícios típicos. Dimensionou-se sistemas de energias renováveis (PV, solar térmico e eólico) tanto para os edifícios típicos como para os com medidas de eficiência, de forma a permitir uma comparação do custo-benefício antes e após as intervenções.

Em Termos conclusivos, a arquitetura tradicional tem bom comportamento térmico, o que garante um bom nível de conforto. A aposta em medidas de eficiência energética, acompanhadas das devidas políticas de incentivo a utilização de energias renováveis, serão um dos caminhos a seguir para a implementação do *ZEB* e que também poderão ajudar na resolução dos problemas energéticos do país.

Keywords

ZEB's; Renewable energy; Simulation; Passive measures; Energetic efficiency

Abstract

The main objective of this thesis is to analyze the implementation of the ZEB (Zero Energy Buildings) in isolated communities, particularly in Cape Verde. This country consists in a set of islands with some adverse constraints (geographical and lack of conventional energetic resources) and with a huge potential for using renewable energies.

In general, a ZEB is defined as having a high energy performance, where its energetic needs should be suppressed by energy provided by renewable sources.

During the development of this work, some dynamic simulation tools were used (DesignBuilder) as well as software for dimensioning energetic systems (HOMER and RETScreen). The considered buildings were the traditional Cape Verde buildings, both rural and urban. The climatic data from Dakar was used. This approach was due to the lack of such information respecting Cape Verde (taking advantage of the fact that Dakar has a similar climate to the one of Cape Verde), and because only data about Dakar was available on the DesignBuilder data. For the solar energy production system dimensioning, data from the Santiago Island was used.

During this study, efficiency measures were taken to reduce the energy consumption in the typical buildings. Renewable energy systems were used (PV, thermic solar and Eolic), both for the typical buildings and for those already under a program of efficiency measures, to allow the comparison cost/benefit before and after the intervention.

It is also concluded that the traditional architecture shows a good thermal behavior, which guarantees a good level of comfort. The use of new measures to achieve energy efficiency, along with adequate renewable energy policies, are needed to achieve the implementation of the ZEB's, which will help to solve the energetic problems felt in the country.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do Problema	1
1.2	Objetivos do Trabalho	2
1.2.1	Objetivo Geral	2
1.2.2	Objetivo Específico	2
1.3	Revisão Bibliográfica	2
1.3.1	Conceitos de Edifícios de Balanços Energéticos Nulos (ZEBs)	3
1.3.2	Algumas Políticas e Metas Traçadas para o Alcance ZEB	10
1.3.3	Caracterização de Técnicas de Construção ZEB	13
1.3.4	Exemplos de Caso Estudo	14
1.4	Contribuição da Dissertação	17
1.5	Estrutura da Dissertação	18
1.6	Síntese do Capítulo	18
2	Caraterização do Contexto Local	19
2.1	Contexto	19
2.2	Contexto Geográfico/Climático	19
2.3	Caraterização Sócioeconómica	20
2.4	Caraterísticas Arquitetónica	21
2.5	Cenário Energético em Cabo Verde	23
2.5.1	Recursos Endógenos	25
2.6	Síntese do Capítulo	27
3	Soluções e Tecnologia de Aplicação no Contexto Local	29
3.1	Contexto	29
3.2	Soluções Passivas	29
3.2.1	Estratégia de Localização e Orientação	30
3.3	Estratégia de Sombreamento	31
3.4	Revestimento Reflexivo da Envolvente	32
3.5	Dimensionamento das Áreas Envidraçadas	32
3.6	Ventilação Natural	32
3.7	Estratégia do Isolamento do Edifício	34
3.8	Inércia Térmica	34
3.9	Arrefecimento Evaporativo	36
3.10	Soluções Ativas	36
3.10.1	Tecnologia de Conversão Solar	37
3.10.2	Tecnologia de Conversão Eólico	41

3.11	Síntese do Capítulo	42
4	Metodologia de Análise	43
4.1	Contexto	43
4.2	Estratégia de Análise	43
4.3	<i>Softwares</i> Utilizados	44
4.3.1	<i>HOMER/RETScreen</i>	44
4.3.2	<i>DesignBuilder</i>	47
4.4	Resultados Esperados	48
4.5	Síntese do Capítulo	48
5	Definição de Caso Estudo	49
5.1	Considerações Gerais	49
5.1.1	Radiação Solar	51
5.1.2	Velocidade do Vento	51
5.2	Edifício Urbano	52
5.2.1	Arquitetura	52
5.2.2	Consumo Energético	54
5.2.3	Sistema de Produção de Energia	56
5.3	Edifício Rural	57
5.3.1	Arquitetura	57
5.3.2	Consumo Energético	59
5.3.3	Sistema de Produção de Energia	60
5.4	Modelação de Níveis de Intervenção	61
5.4.1	Nível I-Medidas Passivas	61
5.4.2	Nível II-Medidas Ativas	65
6	Resultados e Discussão	67
6.1	Edifício Urbano	67
6.1.1	Orientação Ótima	67
6.1.2	Nível I- Medidas Passivas	68
6.1.3	Nível II- Medidas Ativas	70
6.1.4	Microprodução	71
6.2	Edifício Rural	76
6.2.1	Orientação Ótima	76
6.2.2	Nível I- Medidas Passivas	77
6.2.3	Nível II-Medidas Ativas	78
6.2.4	Microprodução	79
6.3	Análise da Sensibilidade Paramétrica	83
6.3.1	Área Envidraçada	83
6.4	Análise do Conforto	83
6.5	Síntese do Capítulo	85
7	Conclusão	87
7.1	Limitações e trabalhos futuros	89

A	Anexos	97
A.1	Consumo Energético dos Equipamentos	97
A.2	Simulação <i>HOMER</i>	99
A.2.1	Custo do Sistema de Microprodução	99
A.2.2	Edifício Urbano de Referência	100
A.2.3	Edifício Rural de Referência	102
A.3	Ocupação dos Edifícios	103

Lista de Tabelas

1.1	Síntese das vantagens e desvantagens das definições de <i>ZEB</i>	4
1.2	Opções hierárquicas de oferta de energia renovável para <i>ZEB</i>	5
1.3	Critério para avaliação de uma rede <i>ZEB</i>	7
1.4	Planos e iniciativas para alcançar <i>ZEB</i>	11
3.1	Tecnologia fotovoltaica e eficiência associada	38
3.2	Coletores solar térmicos e a sua aplicabilidade	40
3.3	Classificação das turbinas eólicas com a posição do rotor	41
5.1	Consumo energético dos equipamentos	54
5.2	Consumo energético dos equipamentos	59
5.3	Solução construtiva da fachada exterior	61
5.4	Solução construtiva a nível da fachada exterior	64
6.1	Síntese da microprodução	71
6.2	Síntese da microprodução	80
A.1	Consumo energético dos equipamentos habitação urbana	97
A.2	Consumo energético dos equipamentos habitação rural	98
A.3	Consumo energético com equipamentos nível II urbana	98
A.4	Consumo energético nível II rural	99
A.5	Custo sistema de microprodução	100

Lista de Figuras

1.1	Interação entre o edifício e à rede de energia	6
1.2	Abordagem para o alcance <i>ZEB</i>	9
1.3	Algumas estratégias para a redução da procura nos edifícios	10
1.4	Casa passiva Darmstadt	15
1.5	Edifício Solar XXI	15
1.6	Funcionamento da parede de trombe	16
1.7	Casa da Ciência	16
1.8	Edifício Solar ARK	17
1.9	Edifício Oberlin College Lewis Center	17
2.1	Localização da República de Cabo Verde	20
2.2	Casas vernaculares com cobertura de telha cerâmica, Cidade Velha	22
2.3	Consumo de energia por sector em Cabo Verde, 2010	24
2.4	Intensidade elétrica da economia de Cabo Verde e Europa	25
2.5	Mapeamento do recurso solar em Cabo Verde	26
2.6	Mapeamento da velocidade média do vento em Cabo Verde	27
3.1	Solução possível de localização em regiões montanhosas	30
3.2	Otimização dos dispositivos fixos de sombreamento	31
3.3	Fluxo de ar pela ação de efeito chaminé	33
3.4	Resultado da pressão originada pela ação do vento	33
3.5	Ventilação unilateral	34
3.6	Edifício residencial construída na ilha de São Vicente	35
3.7	Pousada projetada por Álvaro Siza, ilha do Santiago	35
3.8	Arrefecimento evaporativo recorrendo a vegetação, ilha do Sal	36
3.9	Painéis fotovoltaicos	37
3.10	Alguns sistemas fotovoltaicos	37
3.11	Previsões do custo do sistema PV	39
3.12	Orientação ataque do vento nas turbinas <i>upwind</i> e <i>downwind</i>	42
4.1	Ambiente de trabalho <i>HOMER</i>	45
4.2	Relação entre as tarefas realizadas pelo <i>HOMER</i>	46
4.3	Exemplo do interface <i>RETScreen</i> [<i>RETScreen</i>]	47
4.4	Interface gráfica do programa [<i>DesignBuilder</i>]	48
5.1	Distancia cidade da Praia–Dakar [<i>google earth</i>]	49
5.2	Escolha do dado climático no programa [<i>DesignBuilder</i>]	50
5.3	Ilha do Santiago	50

5.4	Radiação horizontal da ilha do Santiago [<i>HOMER</i>]	51
5.5	Velocidade média de ilha de Santiago [<i>HOMER</i>]	52
5.6	Habitação urbana unifamiliar [<i>HOMER</i>]	52
5.7	Planta da habitação urbana	53
5.8	Estratégia de simulação urbana [<i>DesignBuilder</i>]	54
5.9	Diagrama de carga edifício urbano [<i>HOMER</i>]	55
5.10	Configuração de sistema de produção elétrica [<i>HOMER</i>]	56
5.11	Habitação rural unifamiliar [<i>HOMER</i>]	57
5.12	Planta da habitação rural	58
5.13	Estratégia de simulação rural [<i>DesignBuilder</i>]	58
5.14	Diagrama de carga edifício rural [<i>HOMER</i>]	59
5.15	Configuração de sistema de produção elétrica [<i>HOMER</i>]	60
5.16	Curva de potência da turbina eólica [<i>HOMER</i>]	60
5.17	Aplicação do capoto	62
5.18	Lajeta térmica	62
5.19	Carta solar	63
5.20	Sistema de isolamento do telhado [<i>DesignBuilder</i>]	64
5.21	Local de aplicação lã de rocha [<i>DesignBuilder</i>]	64
6.1	Impacto da orientação sobre consumo de energia na climatização	67
6.2	Orientação ótima (adaptado de [<i>DesignBuilder</i>])	68
6.3	Ventilação natural diária [<i>DesignBuilder</i>]	68
6.4	Exemplo do comportamento de ventilação durante um dia [<i>DesignBuilder</i>]	69
6.5	Redução de consumo energético nível I	69
6.6	Sistema de sombreamento da área envidraçada [<i>DesignBuilder</i>]	70
6.7	Escolha de sombreamento e tipo de vidro [<i>DesignBuilder</i>]	70
6.8	Redução de consumo energético nível II	70
6.9	Produção média mensal da eletricidade [<i>HOMER</i>]	71
6.10	Produção PV [<i>HOMER</i>]	72
6.11	Hora produção diária do PV [<i>HOMER</i>]	72
6.12	Estado de carga das baterias [<i>HOMER</i>]	73
6.13	Estado de carga das baterias durante um dia [<i>HOMER</i>]	73
6.14	VAL por tipos de equipamento [<i>HOMER</i>]	74
6.15	Custo investimento total por equipamento [<i>HOMER</i>]	74
6.16	Retorno de Investimento produção AQS [<i>RETScreen</i>]	75
6.17	Impacto orientação sobre consumo de energia por climatização	76
6.18	Orientação ótima (adaptado de [<i>DesignBuilder</i>])	76
6.19	Ventilação natural diária [<i>DesignBuilder</i>]	77
6.20	Exemplo do comportamento de ventilação durante um dia [<i>DesignBuilder</i>]	77
6.21	Redução de consumo energético nível I	78
6.22	Redução de consumo energético nível II	78
6.23	Otimização do sistema de produção de energia [<i>HOMER</i>]	79
6.24	Produção média mensal da eletricidade [<i>HOMER</i>]	80
6.25	Produção PV [<i>HOMER</i>]	80
6.26	Estado de carga das baterias [<i>HOMER</i>]	81
6.27	VAL por tipos de equipamentos [<i>HOMER</i>]	81
6.28	Custo investimento total por equipamento [<i>HOMER</i>]	82

6.29	Retorno de investimento produção AQS [<i>RETScreen</i>]	82
6.30	Temperatura operativa anual da sala do edifício urbano [<i>DesignBuilder</i>]	84
6.31	Temperatura operativa anual da sala do edifício rural [<i>DesignBuilder</i>]	84
A.1	Temperatura água da rede distribuição em Cabo Verde [<i>DesignBuilder</i>]	99
A.2	Produção média mensal da eletricidade [<i>DesignBuilder</i>]	100
A.3	Produção PV [<i>DesignBuilder</i>]	100
A.4	Necessidade energética suprida [<i>DesignBuilder</i>]	101
A.5	Estado de carga das baterias [<i>DesignBuilder</i>]	101
A.6	VAL por tipo de equipamento [<i>DesignBuilder</i>]	102
A.7	Produção média mensal da eletricidade [<i>DesignBuilder</i>]	102
A.8	Produção PV	102
A.9	VAL por tipo de equipamento	103
A.10	Ocupação dia de semana	103
A.11	Ocupação fim de de semana	104

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento do Problema

O preço e escassez dos recursos energéticos convencionais, assim como o conceito de soberania energética, têm tido um papel preponderante para a promoção de linhas orientadoras das políticas energéticas. A produção descentralizada e a microprodução de energia são uma das linhas orientadoras do desenvolvimento do sistema energético e têm apresentado um acentuado crescimento na última década.

A microprodução tem um papel importante ao permitir a penetração de energia em regiões ou áreas isoladas e/ou de difícil acesso, situações em que, em termos económicos, não se justifica a aposta em sistemas de transmissão e distribuição de energia, desde o local de produção até ao ponto de consumo.

A produção descentralizada e a microprodução têm como principal alvo o sector dos edifícios. Este tem apresentado um grande crescimento a nível global no que concerne ao consumo de energia, aproximadamente 40%. No sector dos edifícios, a promoção desta produção é feita através de políticas que priorizam as tecnologias renováveis.

A construção de edifícios eficientes de baixo consumo energético, aliados a uma boa abordagem das estratégias de construções, adequada ao contexto climático de um determinado país é indispensável no contexto energético e de mudanças climáticas.

Nesta lógica, os Estados Unidos e a Europa têm sido dos grandes impulsionadores para a construção destes tipos de edifícios, através de criação de metas e políticas que incentivam intervenções arquitetónicas e a utilização de energias renováveis. Um edifício que combina estas duas abordagens, redução de consumo energético através de intervenção arquitetónica e satisfação das necessidades energéticas a partir de fontes renováveis, é designado por um *Zero Energy Building* ou edifícios de balanço energético quase nulo.

A conjugação das tendências acima referidas com as condições atuais de países como Cabo Verde (ilhas em desenvolvimento) parece ser bastante interessante, permitindo conceber os sistemas energéticos à luz de um novo paradigma. A construção de edifícios de balanço energético nulo (*ZEBs*) poderia ser uma solução interessante para dar simultaneamente resposta aos problemas da escassez energética e da inexistência de uma rede de distribuição (existência de vários micro-centrais) que a ser construída apresentaria custos significativos, resultado da escala e das condições geográficas locais.

O país é caracterizado pela elevada dependência de recursos energéticos convencionais (90 %). O governo tem apresentado planos para alcançar uma penetração de 50% de energias renováveis em 2020 [36; 79; 29]. É uma boa altura para pensar nos novos

desafios e futuros caminhos a seguir para a resolução do défice energético do país.

1.2 Objetivos do Trabalho

1.2.1 Objetivo Geral

O projeto apresentado visa analisar a implementação dos *ZEBs* (edifícios de balanço energético nulo) assim como o seu impacte tanto a nível económico como ambiental em Cabo Verde, ou outras comunidades isoladas, procurando adaptar o conceito base às condições locais.

1.2.2 Objetivo Específico

Para alcançar os objetivos gerais foi traçado um conjunto de objetivos específicos, destacando-se:

- Determinação da orientação ótima para os edifícios em Cabo Verde;
- Analisar o coeficiente de transferência de calor (U) de referência para as habitações;
- Análise do impacto da utilização de equipamentos e iluminação eficientes sobre a redução do consumo energético;
- Dimensionamento de sistemas solares térmicos para a produção de água quente sanitária (AQS);
- Dimensionamento de sistemas solares fotovoltaicos e eólicos para a produção energia elétrica;
- Avaliação da combinação ótima de sistemas de produção energia renovável.

1.3 Revisão Bibliográfica

O consumo energético de um edifício torna-se bastante significativo se considerarmos o seu ciclo de vida. No contexto atual de mudança climática, escassez de recursos energéticos convencionais e da necessidade de redução da procura energética, é fundamental considerar o desempenho energético na fase inicial do projeto de um edifício.

Um edifício bem projetado, de forma a reduzir a sua necessidade energética e que utiliza fontes de energias renováveis, pode ser designado por um edifício de balanço energético nulo (*ZEB*). Este conceito é visto como uma das soluções que poderão mudar o quadro de consumo de energia no sector dos edifícios e conseqüente redução de consumo global e seus efeitos no meio ambiente.

No entanto, antes de ser implementado no contexto local de qualquer país e num plano mais alargado (rede *ZEB*), o conceito *ZEB* requer uma compreensão clara e uma definição uniforme. Nas secções que se seguem é feita uma análise das várias metodologias apresentadas por alguns autores, bem como alguns estudos práticos realizados.

1.3.1 Conceitos de Edifícios de Balanços Energéticos Nulos (ZEBs)

De acordo com Torcellini et al., que optaram pela definição geral de *ZEB* concedida pelo Departamento de Energia dos EUA (DOE) para um programa de tecnologias de edifícios, definiram uma *net zero energy building* como sendo um edifício residencial ou comercial com necessidades energéticas muito reduzidas, que consegue, através de ganhos de eficiência, atingir o equilíbrio das necessidades energéticas com recurso a energias renováveis [2].

Sendo esta uma definição muito geral, surge a necessidade de uma definição de *ZEB* com maior rigor, pois esta pode suscitar variadas interpretações ou até mesmo compreensão errada por parte dos proprietários, arquitetos e outros intervenientes de projeto [3]. De forma a esclarecer esta questão, Torcellini et al. identificaram as seguintes definições alternativas aqui apresentadas [2]:

- ***Net zero site energy***: produz pelo menos tanta energia de origem renovável quanto à que consome ao longo de um ano, sendo esta contabilizada no local;
- ***Net zero source energy***: produz pelo menos tanta energia quanto à que consome ao longo de um ano, sendo esta contabilizada na fonte. Uma fonte de energia refere-se à energia primária necessária para produção de energia útil para o local, com a multiplicação dos devidos fatores de conversão de energia primária em energia útil;
- ***Net zero energy cost***: o custo associado à aquisição de energia necessária para a utilização do edifício ao longo de um ano é compensado pela produção, e consequente venda de energia produzida;
- ***Net zero energy emissions***: produção de energia sem emissões, de origem renovável, em quantidade suficiente para compensar a energia adquirida a partir de combustíveis convencionais ao longo de um ano.

Não existe, portanto, uma definição absoluta, sendo que todas apresentam vantagens e desvantagens. Um projetista deverá ter em conta tanto os objetivos dos proprietários como as definições de um *ZEB*. Na tabela 1.1 é apresentado um sumário das vantagens e desvantagens relativamente a cada uma das definições anteriores.

Tabela 1.1: Síntese das vantagens e desvantagens das definições de *ZEB*, (adaptado de [2; 3])

Descrição	Vantagens	Desvantagens
ZEB Local	Fácil de implementar; Verificável através de medição local; Abordagem conservadora para alcançar ZEB; Fatores exteriores não afetam o desempenho (ex: preço combustível); Fácil de entender e comunicar; Encoraja o projeto de edifícios eficientes do ponto de vista energético.	Necessita de mais módulos fotovoltaicos para compensar a utilização de gás natural; Não considera os custos de todos os serviços; Não tem em consideração os diferentes tipos de combustíveis; Não conta com as diferenças não energéticas dos diferentes combustíveis (poluição, disponibilidade).
ZEB fonte	Equaciona os custos dos diversos tipos de energia existentes no local; ZEB fácil de alcançar; Maior impacto no sistema de energia.	Não conta com as diferenças não energéticas dos diferentes combustíveis (poluição, disponibilidade); Conversão em energia primária muito generalizada; Não considera todos os custos de energia (fator de conversão pode ser muito baixo); Necessita de definir um fator de conversão fonte-local, o que requer um número significativo de informação.
Custo ZEB	Fácil de implementar e medir; Mercado exige resultados equilibrados entre tipos de combustíveis diferentes; Permite um controlo mais eficiente; Verificado através das contas energéticas.	Podem não se refletir na rede elétrica nacional, pois mais painéis fotovoltaicos podem ser mais importantes na redução dos consumos locais do que a venda de energia à rede; Tipo de energia muito volátil, tornando-se difícil de controlar ao longo do tempo; Necessita de acordos para que a energia produzida compense a energia consumida e os custos não energéticos.
ZEB Emissões	Melhor modelo de energia verde; Conta com as diferenças não energéticas dos diferentes combustíveis (poluição, greenhouse gases); ZEB fácil de alcançar.	Necessita de fatores de emissões apropriados

Segundo os autores das definições apresentadas, a ligação à rede é acessível, no entanto as definições também se aplicam às estruturas de redes independentes. Estes também

apresentam uma analogia para a distinção da localização da oferta de energia aos edifícios, designando-a por **oferta fora do local** e **oferta no local** [2].

- **Oferta fora do local (off-site):** produção de energia com recurso à fonte de energia renovável que se encontra localizada fora da fronteira local do edifício;
- **Oferta no local (on-site):** produção de energia com recurso à fonte de energia renovável que se encontra localizada na área útil do edifício.

Para a compreensão das definições anteriormente expostas são apresentadas opções de oferta de energia renovável por ordem de preferência, de acordo com a minimização do impacte global no ambiente e por incentivos de projetos em edifícios de elevada eficiência, reduzindo assim o transporte e as perdas provocadas pela conversão. Também é levada em conta a disponibilidade das opções durante a vida útil do edifício.

Tabela 1.2: Opções hierárquicas de oferta de energia renovável para ZEB, (adaptado de [2; 4])

Ordem de opção	Opções para ZEB do lado da oferta	Exemplos
0	Reduzir o consumo de energia local através de tecnologias de edifícios de baixo consumo de energia.	Iluminação natural, equipamentos de climatização de elevada eficiência, ventilação natural, arrefecimento evaporativo, etc.
Opções de oferta no local		
1	Utilização de fontes de energia renováveis disponíveis na área útil edifício.	PV, água quente solar, vento localizada no edifício.
2	Uso de fontes de energia renováveis disponíveis no local.	PV, água quente solar, hídrica de baixo impacto, eólica localizado no local mas não no edifício.
Opções de oferta fora de local		
3	Utilização de fontes de energia renováveis disponíveis fora do local para a gerar energia no local.	Biomassa, etanol ou biodiesel que possa ser importado de outro local ou fluxos de resíduos dos processos locais que possam ser usadas no local para gerar eletricidade e calor.
4	Aquisição de fontes de energia renováveis fora do local.	Baseado no vento, PV, créditos de emissão ou outras opções verdes de aquisição. Hidroelétrica é considerada por vezes.

Segundo S.Kilkis, para alcançar o equilíbrio “Zero” tanto a quantidade como a qualidade (exergia) de energia devem ser levadas em consideração. Uma vez que apenas recorrendo ao balanço exergético é possível avaliar o impacto total dos edifícios sobre o meio ambiente, é feita assim uma abordagem um pouco diferente da exposta por Torcellini et al. O autor propôs uma definição diferente para um *ZEB* conectado à rede de energia, denominando-o de *Net-Zero Exergy Building* e define-o como sendo um edifício que tem um balanço exergético anual nulo entre a fronteira do edifício e uma rede energética (ex: uma rede distrital) [5]. Enquanto que, para Igor Sartori et al., uma rede *ZEB* deve ser concebida de modo a funcionar em sinergia com a rede e que não ponha pressão sobre o seu funcionamento. Considerando a interação entre os edifícios e a rede de energia, também deve ser ponderado que cada país ou região têm desafios diferentes no que concerne à infraestrutura, ao clima e às características construtivas. Cada país tem, assim, a sua necessidade de adaptação da definição de uma *Net ZEB* de acordo com as suas condições específicas, como energia primária a utilizar, emissões de carbono, fator de conversão e estabelecimento de requisitos de eficiência energética ou priorização de determinadas tecnologias para a produção de energia. Na Figura 1.1 encontra-se ilustrado um exemplo de um sistema de interação entre o edifício e à rede de energia [6].

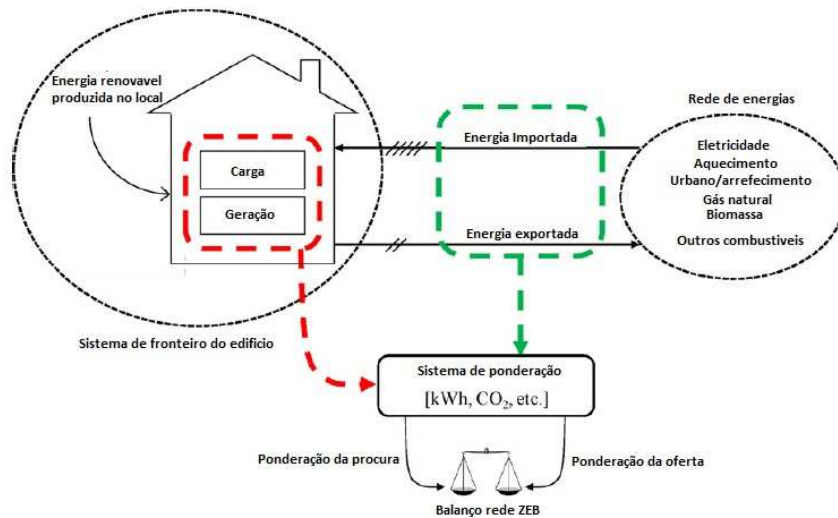


Figura 1.1: Interação entre o edifício e à rede de energia, (adaptado de [6])

Este também apresentou uma metodologia para avaliar um *ZEB* e a sua interação com à rede, conforme apresentado na tabela 1.3.

Tabela 1.3: Critério para avaliação de uma rede *ZEB* [6]

Numeração do Critério	Designação	Definição do critério
1.Fronteira Sistema–Edifício		
1.1	Fronteira física	Um limite para comparar a entrada e saída de energia do sistema pode ser constituído por um edifício ou por um grupo de edifícios e com isso define se uma fonte de energia renovável é local ou fora do local.
1.2	Balço da fronteira	Determina o tipo de energia que é utilizado (para aquecimento, arrefecimento, ventilação, água quente, iluminação, etc.) e que são incluídas no balanço.
1.3	Condições de fronteira	Determina as condições de operação do edifício. Por exemplo: a sua funcionalidade, eficiência do espaço, clima e conforto, etc.
2.Ponderação do sistema		
2.1	Métricas	Servem para analisar as vantagens e desvantagens de cada opção tomada para o projeto relativamente às tecnologias a utilizar, fontes de energia, etc. Como tal, consideram-se quatro métricas: local de produção de energia, fonte de energia, custo de energia e emissões de carbono.
2.2	Simetria	Define o fator de ponderação médio para cada tipo de sistema de produção de energia. Por exemplo dois fornecedores de eletricidade podem ter um fator de ponderação simétrica pela energia exportada e importada, mas se a fonte for diferente pode ter uma ponderação assimétrica.
2.3	Contabilização dependente do tempo	Contabiliza e atualiza os fatores de ponderação, uma vez que estes variam no tempo e de acordo com a região. A eletricidade pode ser avaliada para grandes regiões enquanto que a área de aquecimento / arrefecimento ou de biomassa pode ser avaliada em escala local, conforme a real disponibilidade de recursos nessa área. Isto mostra que o fator de ponderação deve ser atualizado regularmente.
3.Balço da rede ZEB		
3.1	Período do balanço	Período de tempo que se faz o balanço, normalmente é considerado um ano.
3.2	Tipo de balanço	Define o tipo de balanço realizado. Para um edifício em interação com à rede, considera-se a energia importada e exportada entre o edifício e à rede.
...continua na próxima pagina		

Tabela 1.3 Continuação da Tabela

Numeração do Critério	Designação	Definição do critério
3.3	Eficiência energética	Pode estabelecer requisitos mínimos obrigatórios para a eficiência energética, como por exemplo, definir as características do envolvente, como os valores de U para a parede e janelas, etc., características de sistemas de AVAC como potência de ventilação, COP da bomba de calor e requisitos de desempenho aplicáveis às necessidades energéticas, como arrefecimento e aquecimento, ou estabelecer a procura total da energia primária.
3.4	Fornecimento de energia	Explica a estratégia para o fornecimento de energia, como por exemplo, local ou fora de local.
4.Características temporais dos resultados da energia		
4.1	Resultado de carga	Avalia o resultado entre a carga e a geração no edifício, de forma a correlacionar melhor a produção de energia no edifício para que este não fique muito dependente da rede.
4.2	Interação com a rede	Estima o valor da troca de energia entre o edifício e a rede, de forma a conseguir descrever o perfil da importação e exportação do edifício.
5	Medição e verificação	Definição de uma metodologia de cálculo, que permita analisar e medir a eficácia e a robustez de uma solução, da conceção aplicada e finalmente, da real política energética.

Para atingir os objetivos de um *ZEB* é imprescindível uma política bem definida e estruturada. Segundo Sartori Igor et al., uma boa avaliação dos critérios referidos na tabela 1.3 pode tornar-se numa metodologia sistematizada, abrangente e consistente para a definição de uma rede *ZEB*. Com base nisto, pode ser criada legislação e planos de ações concretos e adequados com vista a atingir as metas e políticas de um edifício de balanço energético nulo [6].

No conceito *ZEB* é necessário abordar tanto a oferta como a procura energética nos edifícios. A redução da procura de energia, recorrendo a ganhos de eficiência, é uma estratégia defendida pela comunidade científica. De acordo com Torcellini et al., uma definição consistente de um edifício de balanço energético nulo deve incentivar, à priori, eficiência energética, bem como o uso de fontes de energias renováveis disponíveis no local. Um edifício que compra toda a sua energia a um parque eólico, ou a outra localização central, tem pouca margem de redução da sua carga. O aquecimento solar passivo e a iluminação natural são procuras locais, sendo consideradas medidas de eficiência [2].

O desempenho energético de um *ZEB* depende essencialmente de dois pressupostos fundamentais: a redução das necessidades energéticas do edifício através da implementação de medidas de eficiência energética e da produção de energia a partir de fontes

de energia renováveis [3]. No gráfico da figura 1.2 estão presentes algumas medidas que podem ser tomadas nesta perspetiva.

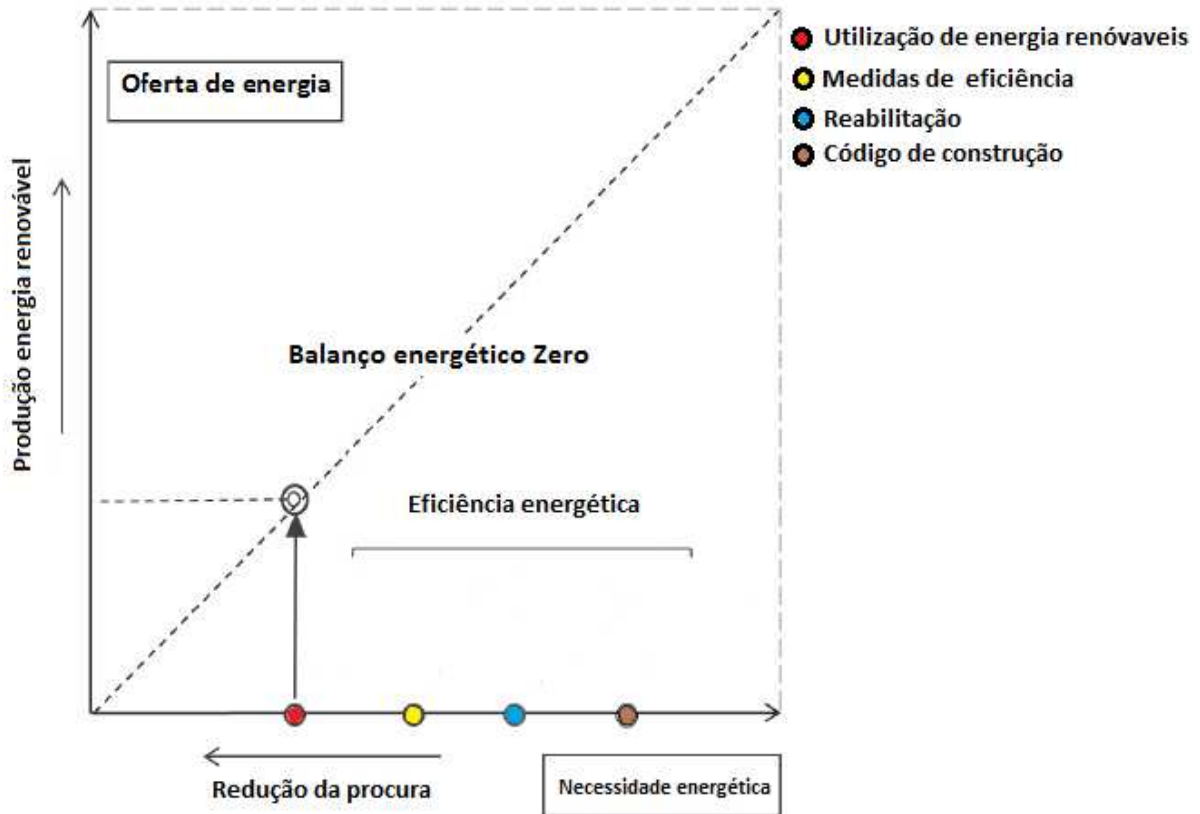


Figura 1.2: Abordagem para o alcance *ZEB*, (adaptado de [7])

Da análise da figura 1.2, poderia concluir-se que os *ZEB* teriam de ser edifícios obrigatoriamente autónomos e isolados. No entanto tal não é obrigatório, visto que estes poderão, e terão interesse, em continuar ligados a uma rede energética de forma a auxiliar as fontes de energia renováveis caso estas se mostrem insuficientes face às necessidades energéticas, sejam elas de energia elétrica, sistemas de distribuição de calor e frio, redes de gás, biomassa ou biocombustíveis [3]. As estratégias de eficiência energética implicam algumas intervenções no sector. Na figura 1.3 podem observar-se algumas estratégias para a redução da necessidade energética dos edifícios.



Figura 1.3: Algumas estratégias para a redução da procura nos edifícios, (adaptado de [8])

1.3.2 Algumas Políticas e Metas Traçadas para o Alcance ZEB

Os governos dos Estados Unidos e da Europa são dos grandes impulsionadores de edifícios de balanço energético nulo ou quase nulo. Este facto deve-se à elevada procura de energia no sector dos edifícios ao longo dos anos. Comprometeram-se a alcançar rede zero ou edifícios de balanço energético quase zero, através de intervenções na arquitetura dos edifícios, com projetos inovadores e incentivos à utilização de energia renovável para suprir as necessidades energéticas.

Nos EUA, através do atual programa de tecnologia de construção concebida pelo Departamento de Energia (DOE), estabeleceram-se metas para criação de tecnologia e abordagem de projetos que levarão à comercialização de habitações de balanço energético zero até 2020 e para edifícios comerciais de balanço energético nulo em 2025 [2; 9].

Na Europa, através da reformulação da diretiva de desempenho energético dos edifícios, constituiu-se que após 31 de Dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e pertencentes às autoridades públicas devem ser edifícios com necessidades quase nulas de energia e que o mais tardar a partir de 31 de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos devem ser edifícios com necessidades quase nulas de energia. Essas necessidades deverão ser supridas, em grande parte, por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia produzida no local ou nas imediações do mesmo [10].

Com o aparecimento destas medidas, alguns países da Europa traçaram algumas metas para a melhoria de consumo de energia nos edifícios. Na tabela 1.4 encontram-se exemplificada as medidas previstas por estes países.

Tabela 1.4: Planos e iniciativas para alcançar *ZEB*, (adaptado de [11])

País/ano	Requisitos Existente	2010– 11	2012–13	2014–15	2016	2020
Áustria	66,5 kWh/m ² /ano (energia final)	-15%				
Bélgica	119-136 kWh/m ² /ano (energia primária)	-25%				
Dinamarca	2010: 52,5–60 kWh/m ² /ano (energia primária)	-25%		-50%		-75%
Finlândia	65 kWh/m ² /ano (procura de energia para aquecimento)	-15–30%		-20%	Edifícios públicos passivas	
França	Até 2012: Combustíveis fósil:80-130 kWh/m ² /ano Eletricidade:130-250 kWh/m ² /ano (energia primária)		LEB Energia 50 kWh/m ² /ano			Positiva E+
Alemanha	2009:70 kWh/m ² /ano (energia primária)		-30			Edifícios de emissões neutros, não utiliza combustível fóssil
Irlanda	2011: 64 kWh/m ² /ano (energia primária)	-60%	-30		Emissões neutros de CO ₂	

...continua na próxima pagina

Tabela 1.4 Continuação da Tabela

País/ano	Requisitos Existente	2010-11	2012-13	2014-15	2016	2020
Holanda	Através do regulamento de Factor EPC 2008: 100-130 kWh/m ² /ano (energia primária)	-25%	Edifícios públicos de emissões neutros	-50%		Edifício de balanço energético neutro
Suécia	2009:110-150 kWh/m ² /ano (energia fornecida)	-20%	25% de novos edifícios serão ZEB			ZEB
Suíça	2011:60 kWh/m ² /ano(energia primária)		Minergie-P 30 kWh/m ² /ano (energia fornecida)			
Reino Unido	Através da regulamentação de emissões de CO ₂ por parte da procura 2010: 100 kWh/m ² /ano (energia primária)	-25%	-44%		Zero Carbono	

Nesta perspetiva, Portugal também tem criado e reformulado, ao longo dos anos, decretos lei para melhoria do conforto térmico nos edifícios, medidas de eficiência energética, correção de situações anómalas (patologia construtiva e ambiental), etc. São exemplos destas regulamentações o RCCTE, SCE, RSCEE e Certificação do desempenho energética e da qualidade do ar Interior dos Edifícios [12].

Mesmo com estas diretivas, segundo alguns autores, ainda ficam alguns pontos por esclarecer como: Qual é a percentagem para o balanço quase zero?; Energia renovável do local ou das proximidades?; Que aspeto de energia são incluídas?; Qual é a casa passiva standards 0,10,15 ou 50 kWh/m²/ano? [13; 8].

1.3.3 Caracterização de Técnicas de Construção ZEB

As técnicas de construção do *ZEB* variam consoante se tratem de edifícios existentes (reabilitação) ou edifícios novos. Estas abordagens podem envolver mais pessoas, demorar mais tempo e custar mais, sendo expressivo a avaliação do custo benefício do projeto. Geralmente este tipo de construção está associado a um conjunto de soluções passivas com o objetivo de fornecer luz, aquecimento, arrefecimento e ventilação.

Para alcançar um desempenho energético elevado num edifício, é necessário conhecer em detalhe o clima local, a envolvente dos edifícios e aplicar inúmeras soluções passivas. Nos edifícios novos podem-se aplicar medidas, tais como [14; 3]:

- Melhor aproveitamento do espaço;
- Otimização térmica da envolvente (isolamento adequado);
- Fator de forma compacto (acarretando de menor necessidade de aquecimento);
- Otimização dos ganhos solares (boa orientação e sombreamento dos envidraçados);
- Utilização de janelas eficientes;
- Iluminação natural (reduzindo a utilização da iluminação artificial);
- Otimização dos ganhos solares (boa orientação e sombreamento dos envidraçados);
- Ventilação natural (aplicação de HVAC adequado ao clima local para as necessidades restantes);
- Iluminação eficiente;
- Equipamentos eficientes.

Relativamente aos edifícios existentes podem ser abordadas estratégias como a reabilitação da envolvente (isolamento, sombreamento), promoção da utilização equipamentos e iluminação eficientes, etc.

1.3.4 Exemplos de Caso Estudo

Em Portugal, Guilherme Carrilho da Graça et al., estudaram a viabilidade da implementação de um *nZEB* no Sul da Europa, utilizando o sol como fonte de energia. Para análise do caso de estudo utilizaram o *software* de simulação dinâmica *Energy Plus*. A simulação teve como input as condições climáticas da cidade de Lisboa, bem como os padrões de construção aplicados em Portugal. O trabalho teve como objeto de estudo dois tipos de edifícios: com construção passiva (com assombreamento, etc.) e edifício constituído por grande percentagem de áreas envidraçadas na envolvente. Os principais objetivos do estudo foram, analisar a viabilidade económica da utilização de energia solar, bem como o impacto que a orientação, o perfil de ocupação e a utilização de equipamentos eficientes têm sobre o consumo de energia nesses edifícios. Concluíram que, para cumprir a meta *nZEB*, a potência fotovoltaica instalada varia significativamente com a eficiência dos equipamentos. O tempo de retorno para um sistema *nZEB* é altamente dependente dos custos da energia e dos incentivos à microprodução. O melhor cenário é obtido com um incentivo à microprodução e apresenta um tempo de retorno de investimento de cerca de 8–10 anos [15].

Na Dinamarca, Anna Joanna Marszal et al., conceberam uma metodologia para analisar o custo do ciclo de vida de uma rede de edifício de balanço energético nulo. O estudo teve como objetivo a otimização do custo com base na combinação de medidas de eficiência energética e geração de energia renovável. Para a produção no local, foi considerada a cogeração e a produção de eletricidade a partir de painéis fotovoltaicos. Enquanto que, para a produção fora do local, consideraram um parque de energia eólica e a compra de 100% de energia renovável a uma rede elétrica. Da análise feita, concluíram que é mais rentável investir em medidas de eficiência energética para a opção de fornecimento de energia renovável no local. Relativamente a opção de fornecimento fora de local é mais vantajoso investir em tecnologias de energias limpas [16].

No trabalho de S.Deng et al., investigaram o conceito de fornecimento de energia a uma rede de edifícios residenciais de balanços energéticos nulos em clima húmido (Xangai) e clima seco (Madrid). Os objetos de estudo foram os edifícios típicos de cada uma destas cidades. Do estudo realizado, concluiu-se que as necessidades energéticas dos edifícios em ambas as cidades podem ser supridas com recurso a painéis fotovoltaicos. Em Madrid o investimento terá o retorno em 10,1 anos e uma redução de 74,4 toneladas equivalentes de CO_2 ao longo do ciclo de vida do edifício [17].

Nos Estados Unidos, Melissa R. Elkinton et al., estudaram a viabilidade económica de um sistema eólico para o fornecimento de energia a *ZEBs*. Concluíram que o sistema de turbina eólica em grande escala seria mais vantajosa a nível económico do que os de pequeno e médio porte [18].

No Japão, Baris Bagci, estudou estratégias para alcançar uma ilha de balanço energético nulo (Peng Chau, Hong Kong). No estudo, considerou a energia solar, a eólica, das ondas e dos resíduos sólidos urbanos. Concluiu que as alternativas mais razoáveis são: a energia eólica, a solar e das ondas. E que, nenhuma das tecnologias atuais, por si só é suficiente para atender à procura total de energia da ilha [19].

De alguns exemplos demonstrados, pode-se observar que o estudo do conceito *ZEB* tem demonstrado um ritmo de crescimento satisfatório, evidenciando-se a importância da aposta em medidas de eficiência energética. Existem também alguns casos de estudos práticos aplicados em alguns países, onde se torna notório que uma boa exploração de

recursos endógenos é promissor para uma implementação do *ZEB*.

Construída em 1990, a casa passiva Darmstadt, na Alemanha, foi uma das pioneiras na utilização de arquitetura passiva. Este edifício foi construído de forma a aproveitar os ganhos solares (pelas janelas) de modo a ajudar na redução da necessidade de aquecimento. Conseguiu-se alcançar uma diminuição de cerca de 90% das necessidades de aquecimento, bem como a redução no consumo de gás, devido ao bom isolamento, aos ganhos de calor pelas janelas e à utilização de coletores solares térmicos (figura 1.4) [20].



Figura 1.4: Casa passiva Darmstadt [20]

Em Portugal, o edifício do INETI, Solar XXI, tem dado prova de que recorrendo a uma boa abordagem das condições locais, é possível alcançar um *ZEB*. Este edifício é composto por um conjunto de sistemas e soluções para aproveitamento de energias renováveis, e para melhoria de eficiência energética. A iluminação natural, a redução do arrefecimento e aquecimento tiveram uma atenção especial. O conjunto de sistema de painéis fotovoltaicos que compõem o edifício produz em média cerca de 70% da energia elétrica consumida. O arrefecimento é garantido através dos tubos enterrados no solo que injetam ar fresco para dentro do edifício podendo cada utilizador controlar o caudal do ar a partir do seu compartimento [21].



Figura 1.5: Edifício Solar XXI [21]

Os painéis fotovoltaicos que se encontram na fachada sul funcionam como uma parede de trombe, ou seja, a energia acumulada no ar entre o painel e a parede serve para aquecer a sala através de aberturas existentes na parede. Na figura 1.6 pode observar-se o funcionamento desse sistema.

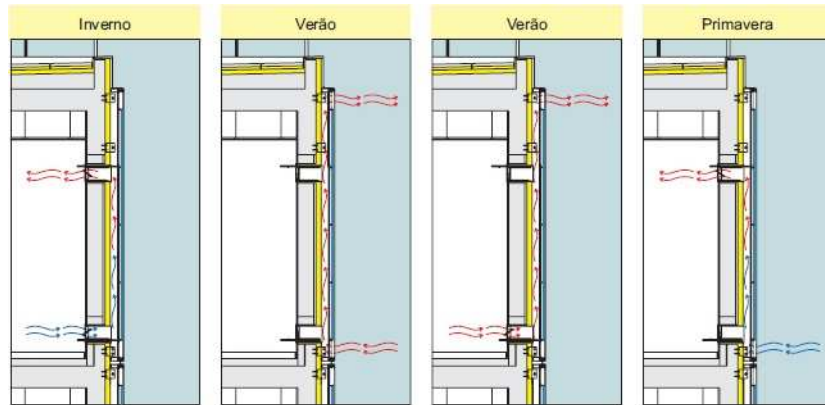


Figura 1.6: Funcionamento da parede de trombe [21]

Nos Estados Unidos, na cidade de Saint Paul, estado de Minnesota, a casa da ciência foi projetada para ser um edifício de balanço energético nulo. A eletricidade utilizada é fornecida por um sistema de painel fotovoltaico com 8,8 kW de potência. A produção anual de eletricidade é 30% superior às necessidades elétricas do edifício devido à sua arquitetura passiva. A casa da ciência pode ser considerada um ZEB local, fonte e emissão (figura 1.7) [22].



Figura 1.7: Casa da Ciência [22]

O edifício Solar ARK, no Japão, tem uma altura de 31,6 m e uma largura de 315 m, é um exemplo de abordagem de produção energia no local. O edifício tem cerca de 5046 painéis solares fotovoltaicos que produzem cerca de 530 MWh por ano, o que contribui para uma redução de 167 toneladas equivalente de CO_2 por ano (figura 1.8) [23].



Figura 1.8: Edifício Solar ARK [23]

O Centro de Estudos Ambientais Oberlin College Lewis Center encontra-se situado na cidade norte-americana de Oberlin, Ohio. A necessidade elétrica do edifício é suprida por meio de um telhado fotovoltaico de 60 kW e por um sistema de painéis fotovoltaicos de 100 kW instalados sobre o estacionamento. O excedente da produção é exportado para a rede elétrica local. Para suprir as necessidades de arrefecimento e aquecimento do edifício utiliza-se o sistema de climatização por geotermia. O aproveitamento da luz natural permitiu reduzir em 74% a energia gasta com a iluminação, o que contribuiu para uma redução significativa da carga do edifício (figura 1.9) [24].



Figura 1.9: Edifício Oberlin College Lewis Center [24]

1.4 Contribuição da Dissertação

Este trabalho pretende contribuir em duas vertentes. Por um lado apoiar os arquitetos a tomar decisões relativamente aos aspetos construtivos que devem ser abordados em Cabo Verde, de forma a garantir um melhor conforto aos ocupantes com um menor gasto energético. Por outro, auxiliar o governo a tomar decisões no que concerne à política de distribuição de energia aos edifícios residenciais, principalmente em comunidades isoladas, evitando assim a criação de micro-centrais que implicam muitas vezes elevados investimentos, tanto a nível de custo com o sistema, como com gasto na compra de recursos convencionais.

1.5 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em 7 capítulos.

O capítulo 1 institui-se a introdução da dissertação. Neste são discutidas algumas considerações preliminares, de forma a enquadrar e justificar o trabalho, bem como os respetivos objetivos. Procede-se também à revisão bibliográfica.

No capítulo 2 caracterizam-se as condições locais de Cabo Verde, de forma a dar a conhecer os recursos endógenos e alguns problemas do arquipélago.

O capítulo 3 começa pela análise das soluções passivas que podem ser abordadas no clima de Cabo Verde e também são apresentadas as tecnologias mais prováveis de se adaptarem as condições do arquipélago.

No capítulo 4 é exposta a metodologia utilizada nesta dissertação.

No Capítulo 5, apresenta-se o caso de estudo e as condições gerais do trabalho.

No capítulo 6 é feita a apresentação e discussão dos resultados.

Por fim, no capítulo 7 são apresentadas as principais conclusões decorrentes do trabalho bem como algumas sugestões de trabalhos futuros.

1.6 Síntese do Capítulo

Do capítulo, conclui-se que o conceito *ZEB*, para ser bem sucedido, depende da política energética que cada país pretenda implementar, dada a existência de um leque variado de pontos de vista. Da revisão da literatura, conclui-se que a maioria dos autores defende que um edifício de balanço energético nulo é aquele que apresenta uma procura de energia reduzida e esta deve ser suprida através da energia proveniente de fontes renováveis.

Para uma definição consistente de *ZEB* falta ainda especificar alguns detalhes, como requisitos mínimos de desempenho energético do edifício, exigências de interação entre o edifício e a rede, o período de equilíbrio e o conceito de casa passiva *standard*.

Em suma, para alcançar um edifício de balanço energético nulo é clara a necessidade de aposta em estratégias de construção local (medidas passivas) para promover a redução de consumo de energia bem como a exploração dos recursos endógenos. Para isso é imprescindível o conhecimento do contexto local do país para a escolha da melhor metodologia de implementação do *ZEB*.

Capítulo 2

Caraterização do Contexto Local

2.1 Contexto

Para a construção de um edifício de balanço energético nulo (*ZEB*) é importante o conhecimento do contexto local do país. A noção da realidade local ajuda na definição de estratégias que podem servir como auxílio a qualquer política energética que se pretenda implementar.

Cabo Verde tem escassez de recursos energéticos convencionais, dependendo quase na sua totalidade da importação desses recursos, o que tem tido um grande peso na sua economia. Uma das soluções credíveis para a resolução desse problema é a exploração dos recursos endógenos. A identificação dos potenciais recursos endógenos do arquipélago para a produção de energia renovável é, portanto, indispensável.

No presente capítulo é caracterizada a realidade cabo verdiana de forma a permitir uma análise de como um *ZEB* poderá encaixar-se nas condições do arquipélago.

2.2 Contexto Geográfico/Climático

A República de Cabo Verde está situado no Oceano Atlântico, a 450 km da Costa Ocidental Africana. O arquipélago localiza-se entre os paralelos de $17^{\circ}12'$ e $14^{\circ}48'$ de latitude Norte e os meridianos $22^{\circ}44'$ e $25^{\circ}23'$ de longitude Oeste. Constituída por dez ilhas e oito ilhéus, o país cobre uma superfície total de 4.033 km^2 [25; 26]. É na Ilha do Santiago, a maior ilha com aproximadamente 1000 km^2 , que se encontra situada a capital, Praia, atualmente com cerca de 132.317 habitantes [25; 27].

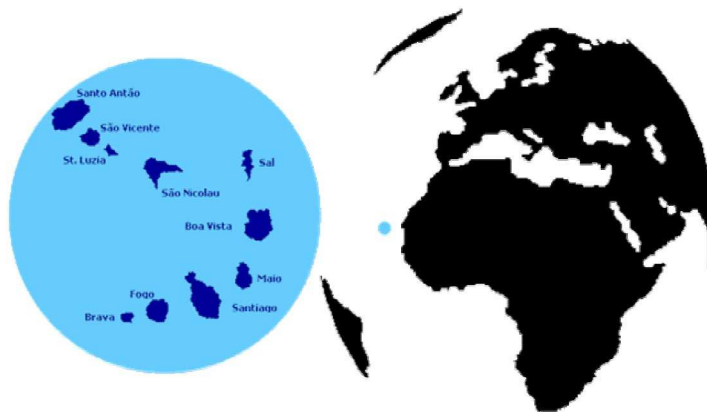


Figura 2.1: Localização da República de Cabo Verde [28]

O clima do arquipélago de Cabo Verde é do tipo tropical seco com influência oceânica, caracterizado pela existência de duas estações, uma longa estação seca, de novembro a junho, e uma curta estação de chuvas, de junho a outubro. As condições meteorológicas de Cabo Verde são influenciadas pelo Anticiclone dos Açores praticamente durante todo o ano, estando por isso quase continuamente no fluxo dos ventos alísios provenientes desse núcleo de altas pressões. Os alísios são ventos regulares de origem nor-nordeste, húmidos e frescos se o percurso marítimo for considerável, ou secos e quentes quando provêm do Continente Africano. A distribuição local dos ventos alísios divide o arquipélago de Cabo Verde em duas regiões geográficas, barlavento (“do lado de onde sopra o vento”), constituído pelas 6 ilhas mais a norte, e sotavento, constituído pelas 4 ilhas situadas mais a sul [25; 29].

As temperaturas são normalmente moderadas devido à influência marítima. Os valores médios durante o ano são próximos de 22°C e os médios mensais variam entre $26,7^{\circ}\text{C}$ e $18,4^{\circ}\text{C}$. As temperaturas mínimas são registadas nos meses de janeiro e/ou fevereiro [29]. A humidade relativa anual média é de 75% na baixa árida e mais de 80% em zona de altitude, sendo que os valores mínimos são registados durante o mês de março [26].

2.3 Caracterização Sócioeconómica

Cabo Verde pertence ao grupo de países de desenvolvimento médio. Uma das principais características da situação social do arquipélago é a pobreza, de natureza fundamentalmente estrutural e que se articula com a fragilidade da base produtiva e as próprias condições económicas do país [64].

Segundo dados do INE - Instituto Nacional de Estatística (2010), Cabo Verde abriga um total de 491.575 habitantes, sendo 50,5% mulheres e 49,5% homens. A grande percentagem da população de Cabo Verde (61,8%) mora hoje nas cidades, revelando uma tendência comum nos países de rendimento médio, que consiste na migração das áreas rurais para as áreas urbanas. Como as cidades não foram preparadas para suportar este novo fluxo populacional, surge um novo desafio para o país: o crescimento desordenado das zonas periurbanas e dos bairros clandestinos [65]. Normalmente as zonas rurais têm uma tendência de ter mais pessoas por foco (em média seis indivíduos por casa), e nas comunidades urbanas em média cerca de cinco indivíduos por edifício.

De entre os principais recursos naturais do país distinguem-se o sal e o peixe. A economia do país é condicionada sobretudo pelos constrangimentos específicos de pequenos países insulares, como por exemplo, a ausência de economias de escala fomentada pela descontinuidade territorial e pequenez do mercado interno, que obrigam à proliferação da infraestrutura (aerportos, portos, estradas, escolas, energia, saúde, etc.) [26].

No que toca ao crescimento económico do país, nos últimos anos verificou-se uma evolução notável. Entre 2004 e 2007 o PIB do arquipélago teve um acréscimo de 7% ao ano. Com a crise de 2008 registou-se um declínio de 4,5 e 5% em 2009 [30; 29]. Para o ano de 2010, as projeções apontaram para um crescimento do PIB no intervalo [4%-5%] relativamente ao ano anterior.

Quanto ao crescimento verificado na última década, nota-se ainda uma fraca capacidade produtiva e competitiva do país, uma débil capacidade de exportação e um atraso tecnológico, como consequência da falta de um tecido empresarial forte, moderno e dinâmico. Com efeito, a economia cabo-verdiana caracteriza-se por dificuldades estruturais ligadas à fraca capacidade de produção (fragilidade do sector agrícola, insipiência da indústria) e à exiguidade do mercado [63].

A economia é dominada pelo sector dos serviços, que é a principal fonte de rendimento nacional. Nos últimos 12 anos, a sua contribuição no PIB tem estado sempre acima dos 60%. Em 2008 foi responsável por 75,5% do PIB nacional, seguido pela indústria (16%) e agricultura (8,5%) [30; 29].

O turismo tem sido um dos grandes motores do desenvolvimento económico de Cabo Verde. Desde 2006 ocupa uma fatia de mais de 50% da contribuição do sector do serviço para o PIB nacional. A sua contribuição no PIB aumentou para mais do dobro, passando de 9,4% em 2001 para 22,0% em 2008 [29].

2.4 Caraterísticas Arquitetónica

A evolução arquitetónica em Cabo Verde é caracterizada principalmente pela adaptação da arquitetura proveniente das terras continentais (tanto da Europa como da África) à insularidade vulcânica. A utilização das rochas vulcânicas como principal material na construção das paredes consolidou-se nos finais do século XIX. A cobertura era, geralmente, telha de barro ou de madeira [31].

O consumo de cimento passou ao domínio popular com a difusão de blocos de cimento e de cascalho na construção das paredes, em substituição da pedra. Em menos de dez anos, as casas de pedra tornaram-se raras e passaram a construir-se em todas as ilhas, tanto no meio rural como no meio urbano, habitações à base de blocos feitos de jorra (piroclastos) [32; 31]. As mudanças ocorridas tiveram reflexos tanto nos materiais de construção utilizados, como na arquitetura popular. O uso do betão armado nos elementos construtivos permitiram a extensão das casas no meio rural. Neste sentido as novas técnicas de construção fizeram aumentar consideravelmente o consumo de areia, deixando-se de lado a utilização das pedras [33; 31].

A zona rural era caracterizada pela existência de arquitetura vincular (casas tradicionais de pedra vulcânica, com paredes de alvenaria, de pedra de junta seca, e cobertura de colmo). Neste modelo de arquitetura, as técnicas de construção foram sendo transmitidas de geração em geração, englobando as habitações mais ancestrais do território. As paredes são construídas com pedra basáltica de junta seca, e apresentam uma espessura

de aproximadamente 40 cm. Geralmente, as paredes interiores são rebocadas e caiadas, enquanto que a fachada é caiada de branco, diretamente sobre as pedras aparentes. As portas e as janelas têm dimensões que rondam, respetivamente, os $2 \times 0,7 \text{ m}^2$ e $1 \times 0,6 \text{ m}^2$ e são ambas construídas com lintéis de madeira [31]. Estas habitações costumam apresentar dimensões de $7 \times 3 \text{ m}^2$ ou $9 \times 4 \text{ m}^2$ e são divididas em dois compartimentos: o quarto dos pais que serve também para arrumo de roupas e objetos valiosos, e a sala comum / de visita, refeições e dormitórios. A grande maioria da atividade doméstica desenvolve-se no exterior, com ou sem quintal (que surge num quadro de disponibilidade financeira) desde a lavagem da roupa, ao banho e ao cozinhar [31]. Atualmente estas sofreram alterações em relação ao revestimento utilizado na cobertura, nomeadamente a cana sacarina e folhas de carrapato. Estes materiais foram sendo substituídos pelas telhas cerâmicas ou de fibrocimento. Note-se ainda que, de um modo geral, estas casas foram ampliadas, introduzindo novos compartimentos (quartos), localizados no quintal das mesmas. O bloco de cimento é o material preferencial na construção destes compartimentos anexos (figura 2.2 [31]).



Figura 2.2: Casas vernaculares com cobertura de telha cerâmica, Cidade Velha [31]

No meio urbano as casas normalmente têm entre 2 a 4 divisões. A maioria dos edifícios é constituída por 1 ou 2 pisos (correspondendo a 74,1% e 18%). O material mais utilizado na construção da parede exterior é bloco de cimento rebocado. As coberturas mais utilizadas são do tipo terraço de betão armado (68,4%) ou inclinado com telhado (27,4%) e piso normalmente feito de cimento ou mosaico [27]. No meio rural também os edifícios têm entre 2 a 4 divisões, embora estes apresentem um maior número de pessoas por divisão. Também são constituídos por 1 ou 2 pisos (respetivamente 89,4% e 9,4%). As paredes exteriores são normalmente construídas em pedras e argamassa rebocada ou blocos de cimento rebocado. As coberturas mais frequentes são do tipo terraço de betão armado (55,1%) e do tipo inclinado com telhado (40,9%) e o pavimento mais frequente é construído em cimento [27].

2.5 Cenário Energético em Cabo Verde

O sector energético de Cabo Verde encontra-se sob a tutela de Ministério da Economia, Competitividade e Crescimento, responsável pela indústria e economia. Na década de 90 o sector energético do arquipélago sofreu de uma reforma estrutural que vai ao encontro da liberalização e privatização do sector. Nesta mesma data, foram lançados diversos programas e projetos com o apoio internacional (Comissão Europeia, Banco Mundial) surgindo o Programa Energia, Água e Saneamento (PEAS) [34].

A Shell de 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 são as duas companhias petrolíferas que operam no mercado de importação, armazenamento e distribuição de combustíveis fósseis no país [25].

A ELECTRA é a empresa responsável pela produção e distribuição de energia por todo o arquipélago. Em algumas zonas isoladas, os municípios gerem pequenas redes elétricas alimentadas por geradores diesel, em muitos casos antiquada. A produção de energia é garantida por centrais a diesel de médio porte, nos principais centros urbanos [25].

A regulação do preço dos produtos petrolíferos em Cabo Verde é assegurada pela Agência Reguladora Económica (ARE). Em Cabo Verde o ritmo de desenvolvimento energético é fraco perante o crescimento do país. Cabo Verde tem uma escassez de recursos energéticos convencionais, tendo assim fortes dependências externas, visto que a totalidade de combustível fóssil consumida é importada, ficando o país exposto às oscilações dos produtos petrolíferos no mercado internacional. O país ainda não dispõe de um sistema de armazenamento de combustíveis que consiga suprir os efeitos dessas oscilações [29; 35].

A importação de combustível fóssil tem atingido uma taxa de quase 90%, o que tem grande peso no crescimento económico do país. Devido à vulnerabilidade ambiental do país, o sistema energético Cabo-verdiano enfrenta dois problemas com elevado impacto ambiental: primeiro, o aumento da poluição local e global do mercado interno, devido à elevada procura dos combustíveis fósseis, principalmente no setor de transporte, sistema de geração elétrica e produção de água; segundo, o aumento da procura da madeira, contribuindo para desertificação acentuada pela escassez de recursos naturais como a floresta [79; 29].

Os principais recursos energéticos utilizados em Cabo Verde são combustíveis fósseis, biomassa (madeira) e energias renováveis. Os combustíveis fósseis são as principais fontes de energia primária utilizada e são constituídos pelos seguintes derivados do petróleo (diesel): a gasolina, o gasóleo, o fuel oil, o Jet A1, o gás butano e lubrificantes [36]. Em 2009, a importação de combustíveis fósseis representou 77,5% do consumo da energia primária. O consumo da biomassa é basicamente constituído por lenha, utilizada nas zonas rurais e periféricas da cidade para a confecção de alimentos. Em 2009, correspondeu a 22,2% do total de energia primária utilizada. A energia renovável, eólica e solar, é utilizada principalmente na produção da eletricidade, que no período de 2009 a 2010 teve um aumento de penetração [29].

No arquipélago têm surgido problemas a nível da satisfação da procura de energia, devido a perdas existentes na rede elétrica que em 2010 atingiu 26,1% da energia elétrica total produzida e são de maior incidência na ilha do Santiago, onde atingiram os 34,4% [29].

A insularidade do país é uma das barreiras para o seu desenvolvimento em diversas áreas, constituindo também um desafio acrescido para a área da energia, pois o arquipélago não está integrado nas redes continentais. Devido também às condições geográficas, é exigida uma extensão da rede ou a criação de micro-centrais, o que muitas vezes não é favorável para o arquipélago [34].

A fraca disponibilidade de água em Cabo Verde faz com esta tenha de ser produzida através da eletricidade, mediante a utilização de tecnologias de dessalinização da água do oceano. Esta produção tem um grande impacto na produção da eletricidade, representa cerca de um décimo da produção total da energia elétrica do arquipélago [34].

Em Cabo Verde os edifícios residenciais dominam no que concerne a consumo de energia elétrica. Em 2010 ocupou uma fatia de 30,1% da eletricidade produzida (figura 2.3) [29].

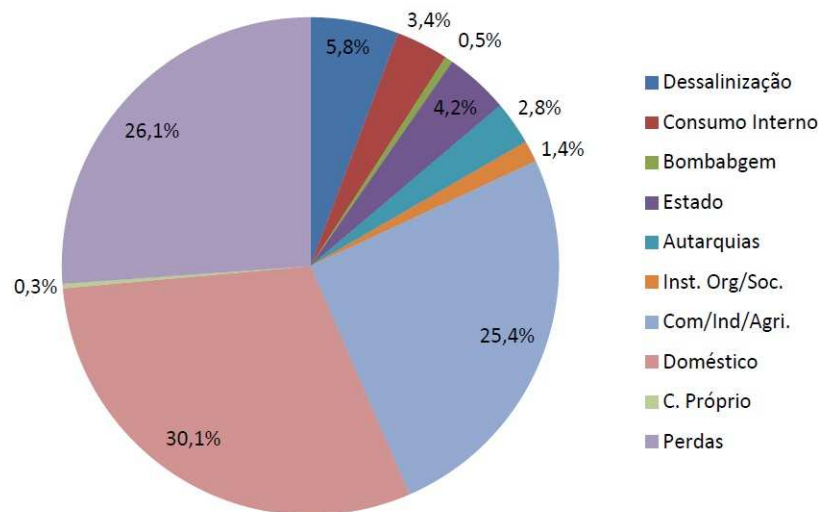


Figura 2.3: Consumo de energia por sector em Cabo Verde, 2010 [29]

Cabo Verde tem registado um crescimento significativo do consumo energético nas habitações, em parte, devido ao aumento da aquisição de equipamentos pelos consumidores de energia. Mais pessoas passaram também a ter eletricidade em casa. A ineficiência de equipamentos utilizados contribui também para o referido aumento.

O crescimento anual médio da geração de energia elétrica no país foi cerca de 7,6% por ano, entre 2001 e 2010, enquanto o crescimento económico foi de apenas 6,5% ao ano. No entanto, pode verificar-se na figura 2.4 que a intensidade energética do arquipélago encontra-se abaixo da média europeia (EU 27), com uma tendência de evolução crescente. A baixa intensidade energética do país deve-se a um fraco desenvolvimento elétrico do mesmo [29].

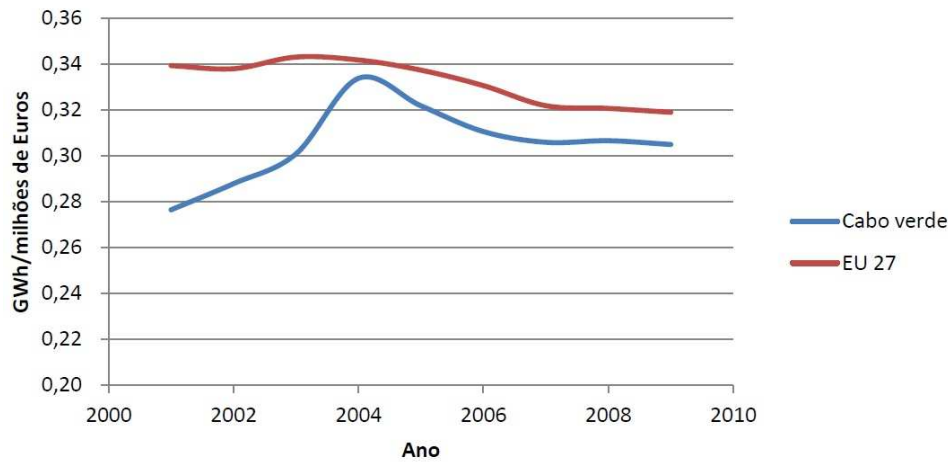


Figura 2.4: Intensidade elétrica da economia de Cabo Verde e Europa [29]

O arquipélago, com vista a resolver os problemas a nível energético, tem ainda grandes desafios a vencer. O governo tem traçado metas para a penetração de energia renovável de 25% em 2011, 50% até 2020, e possuir pelo menos uma ilha a 100% renovável [36]. É igualmente importante traçar estratégias para o sector dos edifícios a nível de eficiência energética e de fornecimento de energia.

2.5.1 Recursos Endógenos

Como já foi referido anteriormente, Cabo Verde tem duas grandes potenciais fontes de energia renováveis: o sol e o vento. Ambas envolvem tecnologias simples de utilizar, e sem grandes exigências a nível de manutenção. O movimento das ondas e as diferenças térmicas do oceano são exemplos de outras fontes que podem ser exploradas, mas estas ainda exigem um estudo mais aprofundado, uma vez que são financeiramente mais exigentes.

O recurso solar é uma fonte de energia praticamente inesgotável, emite constantemente energia para a superfície terrestre, sob forma radiação. A radiação que incide sobre uma superfície perpendicular ao eixo Terra-Sol, situada no topo de atmosfera, é, em média 1.373 W/m^2 . Depois de atravessar a atmosfera, num dia de céu relativamente limpo, a radiação solar que a superfície terrestre recebe é cerca de 30% inferior a registada no topo da mesma, ou seja, aproximadamente 1000 W/m^2 . Essa radiação é constituída por três componentes [37]:

- **Radiação direta:** atinge diretamente a superfície terrestre;
- **Radiação difusa:** desviada em diferentes direções pelos componentes da atmosfera;
- **Radiação refletida:** proveniente da reflexão no solo e objetos circundantes.

A radiação solar tem grande margem de aproveitamento para a produção de energias limpas a “custo zero”, sendo que a energia fornecida pelo sol anualmente roda os $1,5 \cdot 10^{18} \text{ kWh}$ [37].

A energia solar tem duas formas de utilização, passiva e ativa. A utilização passiva consta no aproveitamento da energia para aquecimento de edifícios, através da conceção cuidada de técnicas de construção. A forma ativa apresenta duas formas de transformação, por conversão elétrica e por conversão térmica.

O arquipélago de Cabo Verde apresenta bom potencial para o aproveitamento de energia solar, o que pode ser confirmado no mapeamento de recursos solares do país (figura 2.5).

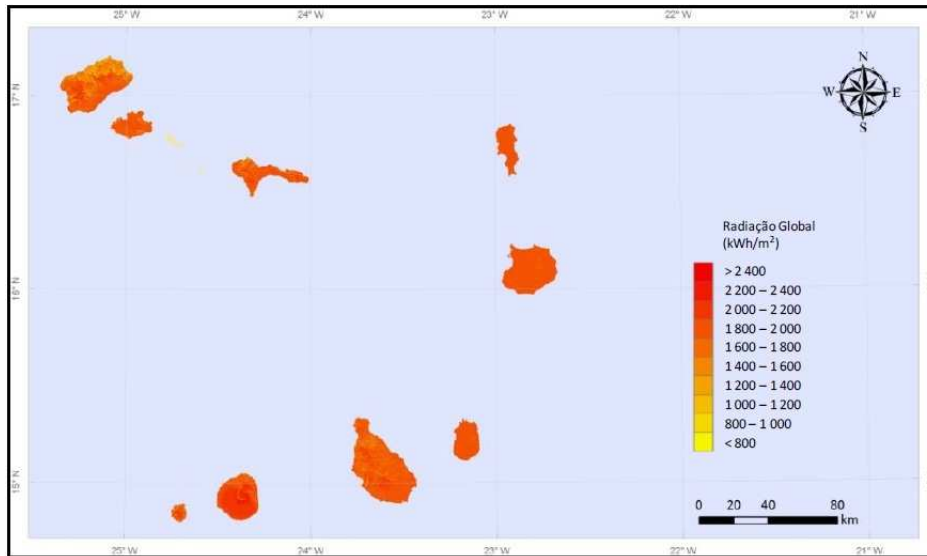


Figura 2.5: Mapeamento do recurso solar em Cabo Verde [38]

Grande parte do território apresenta uma homogeneidade anual de radiação solar entre os 1.800 e os 2.000 kWh/m²/ano, para a inclinação natural do terreno. Resultado de algumas simulações realizadas, mais de 50% do território de Cabo Verde expõe de um potencial de mais de 3750 horas de sol por ano [38].

Relativamente ao vento, as condições climáticas de Cabo Verde fazem com que este país tenha boas potencialidades para a penetração de energia eólica. Desde de 1980 o país tem apresentado algumas apostas nesse tipo de produção de energia, principalmente para a dessalinização e produção de eletricidade. Atualmente o governo tem traçado planos para implementação de energia eólica, aumentando assim o número de parques eólicos no país.

O vento predominante no arquipélago pode ser caracterizado por dois períodos, nos meses de janeiro a julho registam-se velocidades médias do vento elevadas, e no período de julho a dezembro regista-se um decréscimo da velocidade do vento.

A avaliação precisa do potencial de vento numa dada região é um passo essencial para a gestão do aproveitamento do recurso eólico como fonte de energia [39]. Nesse sentido, a realização do mapeamento do potencial eólico que permite ilustrar as características, a intensidade do vento e a estimativa de produção eólica nas ilhas de Cabo Verde torna-se numa ferramenta importantíssima. Na figura 2.6 pode verificar-se a avaliação do potencial da velocidade de vento nas ilhas de Cabo Verde.

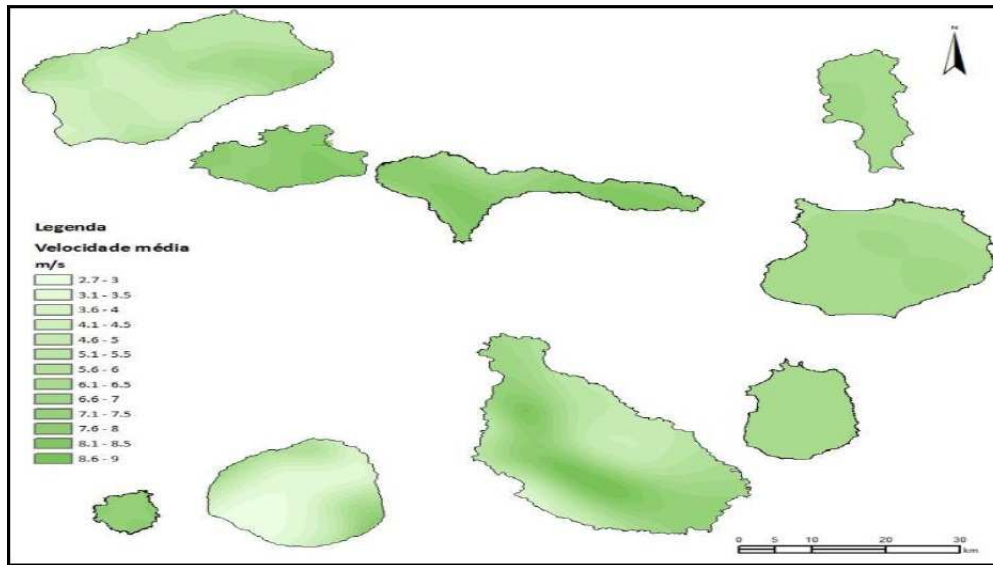


Figura 2.6: Mapeamento da velocidade média do vento em Cabo Verde [38]

O vento sopra de forma constante no arquipélago, nos quadrantes Nordeste e Este. Do mapeamento pode-se concluir de a velocidade média do vento varia entre $2,7 \frac{m}{s}$ e os $9 \frac{m}{s}$ [38].

2.6 Síntese do Capítulo

Relativamente a este capítulo, pode concluir-se que o sector doméstico é atualmente o maior consumidor de energia elétrica em Cabo Verde, correspondendo a uma fatia de cerca de 30,1%.

Cabo Verde tem problemas de distribuição e produção de energia, maioritariamente criados por obstáculos geográficas. Existe um grande número de comunidades isoladas, o que obrigam à criação de micro-centrais ou à extensão da rede de energia, o que muitas vezes não são viáveis.

Os recursos endógenos com maior potencialidades e probabilidade de serem aproveitados para a produção de energia renováveis são o sol e o vento.

Capítulo 3

Soluções e Tecnologia de Aplicação no Contexto Local

3.1 Contexto

A construção que assenta no contexto climático do país (construção bioclimática) é indispensável para garantir o conforto nos edifícios sem que existam grandes gastos energéticos. Estas melhorias podem tornar mais vantajosa a implementação de energia renovável neste sector a médio e longo prazo.

Derivada à relevância destas duas vertentes (tecnologia e construção bioclimática) no conceito *ZEB*, o capítulo que se segue visa analisar as tecnologias e as soluções construtivas mais interessantes de serem promovidas em Cabo Verde.

3.2 Soluções Passivas

As soluções passivas têm como objetivo principal proporcionar ambientes confortáveis no interior dos edifícios e ao mesmo tempo reduzir o consumo energético. Entre as estratégias passivas, destacam-se duas medidas: a otimização do uso da iluminação natural para redução do consumo de energia com iluminação artificial e a promoção da ventilação natural para evitar o uso de aparelhos de ar condicionado [34].

Uma das preocupações das técnicas passivas para climas quentes, como o de Cabo Verde, é a questão de refrigeração dos edifícios, que é indispensável para o conforto dos ocupantes. O arrefecimento passivo tem como objetivo evitar a acumulação de ganhos internos, e promover assim a refrigeração natural. Os principais causadores dos ganhos internos num edifício são: os ocupantes, a iluminação artificial e os equipamentos. Para evitar estes ganhos podem ser utilizadas algumas estratégias, como por exemplo, evitar o uso excessivo de iluminação artificial, otimização da iluminação natural (iluminação natural bem distribuída pelas diferentes divisões do edifício).

Para a promoção de soluções passivas nas habitações em Cabo Verde, é relevante uma análise prévia de algumas questões associadas ao sol como por exemplo a orientação da casa, os tipos de materiais a serem utilizados, as necessidades de proteção nas diferentes zonas (litoral ou montanha), a implementação de árvores e zonas verdes para diminuir o impacto da luz sobre os edifícios, conservação do ar fresco, etc [31].

3.2.1 Estratégia de Localização e Orientação

A opção de localização, a forma e a orientação dos edifícios são de caráter prioritário para a otimização da exposição ao trajeto solar e dos ventos dominantes. Sendo Cabo Verde um país de clima tropical seco, a construção das habitações deve levar em consideração o regime de vento para uma ventilação eficiente, e consequente melhoria do conforto nos edifícios. Caso contrário, dá-se o risco de criação de um ambiente muito desconfortável no interior das habitações [40].

No que concerne à localização, nas regiões montanhosas as habitações devem ser implantadas nas superfícies mais baixas da montanha e acima do leito nas ribeiras, onde a circulação de ar é maior, e deve privilegiar-se o lado da encosta que beneficia de mais horas de sombra [34]. Na figura 3.1 apresenta-se um exemplo de uma solução para a localização de edifícios em regiões montanhosas, de forma a evitar grande exposição solar.

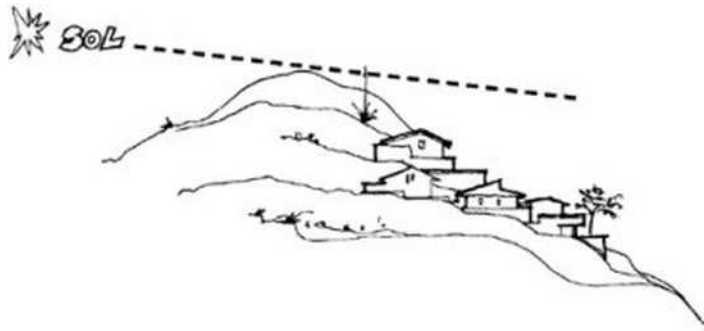


Figura 3.1: Solução possível de localização em regiões montanhosas [34]

Nas zonas litorais, as fachadas voltadas para o mar devem ser protegidas por alpendres de dimensões adequadas para diminuir o impacto do reflexo solar sobre o mar no interior das casas. Esses arranjos exteriores são fundamentais para proteger o interior dos ganhos solares excessivos. No meio urbano, o impacto das radiações solares nos telhados e nas fachadas dos edifícios, bem como a circulação das brisas frescas em redor das habitações devem ser estudadas de forma a não colocarem em risco o conforto dos ocupantes [34].

A orientação correta dos espaços de permanência da habitação, em função do percurso do sol e do vento, é o ponto de partida para se tirar partido destes recursos naturais [31]. A orientação mais propícia para a redução dos ganhos solares será paralela aos eixos Nascente-Poente, sendo que este restringe a área de exposição da fachada que recebe sol do angulo baixo (Nascente-Poente), favorecendo ainda de iluminação natural [31]. Embora muitas vezes, nas zonas urbanas, a questão da orientação se encontrar fora do controlo dos projetistas, estas podem ser compensadas através da utilização de outras estratégias para o controlo adequado de ganhos solares, como sombreamento ou dimensionamento adequado de janelas. Em Cabo Verde deve ter-se em atenção a questão do sobreaquecimento dos edifícios para execução destas estratégias. A orientação a sul deve ser evitada devido a forte incidência solar. Deverão ser previstos alpendres para evitar que o sol incida diretamente nas paredes exteriores, evitando assim o aumento da temperatura no interior da habitação.

3.3 Estratégia de Sombreamento

O género e o tipo de sombreamento necessário está intimamente relacionado com a localização, a orientação, bem como a própria geometria do edifício. O sombreamento é uma estratégia muito eficiente para redução de penetração de radiação solar no edifício, promovendo proteção às áreas envidraçadas e à envolvente opaca, diminuindo assim a exposição a radiação solar. Em regiões quentes, um edifício com sistema de sombreamento criteriosamente dimensionado, pode ser entre 4°C a 12°C mais fresco do que um sem sombreamento [41].

Existem varias técnicas de sombreamento aos edificios, como por exemplo aplicação de dispositivos fixos ou ajustáveis, aproveitamento de sombreamento promovidas pelos espaços intermédios (varandas, pátios, átrios, ou bancadas), prédios vizinhos ou pela vegetação [31]. Geralmente, os dispositivos fixos de sombreamento são elementos externos, como palas horizontais, aletas verticais ou sistemas de grelhas (desde simples gelosias de madeira até sistemas pré-fabricados em cimento ou material cerâmico) [31].

As palas horizontais demonstram um bom rendimento quando aplicadas acima de áreas de janelas orientadas a Sul, enquanto que nas fachadas a Nascente e Poente um dispositivo fixo vertical pode ser o mais indicado. As aletas verticais podem também proteger a fachada Norte do sol baixo de nascente e poente (figura 3.2) [31].

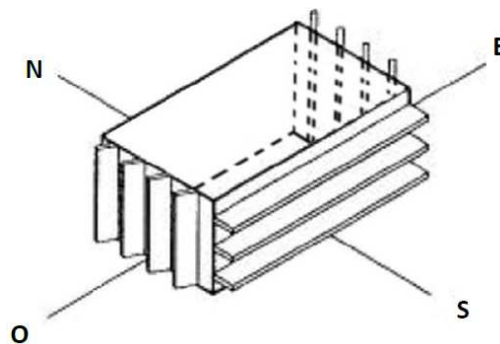


Figura 3.2: Otimização dos dispositivos fixos de sombreamento com a orientação do edifício [31]

Os dispositivos ajustáveis comparativamente aos fixos revelam-se mais eficazes, sendo que podem ser regulados para diferentes ângulos de incidência solar. São exemplos destes tipos de sombreamentos, estores, portadas exteriores de madeira, etc. Estes sistemas permitem os ocupantes ter maior controlo sobre os dispositivos, podendo ajusta-los de acordo com as suas preferências individuais. Este também propicia um melhor aproveitamento da luz natural [34]

Em países quentes como Cabo Verde, também pode ser utilizada a vegetação para sombrear os pisos inferiores diminuindo assim o impacto de calor sobre a envolvente. É preferencial o uso de árvores de folhas persistente, de modo a proporcionar sombra durante todo o ano. São exemplos deste tipo de árvores, a acácia, a azedinha e o sobreiro.

3.4 Revestimento Reflexivo da Envolvente

Geralmente, as propriedades reflexivas das superfícies estão associadas à sua cor. Quanto mais claras forem as superfícies, maior é a sua capacidade de reflexão da radiação solar e, conseqüentemente, da diminuição do ganho do calor [31]. Uma superfície lisa de cor preta absorve cerca de 90% da radiação solar incidente, por outro lado, uma superfície branca reflete cerca de 80% da mesma [42].

Em regiões quentes, como Cabo Verde, deve ser feita uma aposta em cores claras de forma a evitar ganhos excessivos de calor através da absorção da radiação solar pela envolvente. As cores claras para a parede exterior permitirá, assim, refletir grande parte da radiação.

3.5 Dimensionamento das Áreas Envidraçadas

A área envidraçada é responsável pela grande parte de ganho de calor no edifício, pois tem uma baixa resistência a transferência de calor radiante. A sua correta orientação, dimensionamento e escolha do tipo de vidro são fatores determinantes na penetração da radiação solar no edifício [43].

As fachadas com grande percentagem de área de envidraçado, típicas nas construções contemporâneas, devem ser evitadas, pois são os principais responsáveis pelo sobreaquecimento do interior do edifício. As fachadas com grandes áreas de envidraçadas são uma característica arquitetónica importada, e não se adequam ao clima quente de Cabo Verde [31].

Regra geral, nas fachadas localizadas à norte e à sul, a área envidraçada não deve ultrapassar 30% da área da fachada mesmo que os vãos estejam equipados com sistemas de sombreamento adequado. Nas fachadas situadas à nascente e poente, regra geral, este valor deve ser reduzido para um máximo de 20% da área da fachada [34].

Normalmente para a redução de ganhos e perda de calor nos edifícios são utilizados vidros duplos, que aumentam o isolamento da área de envidraçado, reduz a condensação e as taxas de infiltração. Também podem ser utilizados vidros de baixa emissividade, que transmitem seletivamente o espectro solar visível necessário para a iluminação natural, enquanto que refletem a radiação indesejável. Estes vidros podem ser quase opacos à radiação infravermelha, reduzindo a transmissão de energia solar em mais de 50%. Apesar de serem eficientes na redução da radiação solar, contudo têm custo elevado [44; 31].

3.6 Ventilação Natural

A ventilação desempenha um papel fundamental nas regiões quentes, devendo-se privilegiar soluções que visem otimizar a renovação do ar [44; 31]. A ventilação natural é causada pela diferença de pressão criada pelo vento e pela diferença de temperatura (ventilação por efeito chaminé). Pode ser influenciada pela intensidade e direção do vento, bem como por obstruções decorrentes de prédios vizinhos ou vegetação [57; 34].

A ventilação por efeito chaminé ocorre devido à existência de diferenças de temperatura entre a zona considerada e o espaço envolvente. A alteração das propriedades do ar, provocada pela variação da temperatura, leva ao deslocamento do ar quente para as zonas superiores, levando a sua saída e à entrada de ar frio em cotas inferiores (figura 3.3). O

efeito chaminé é mais adequado para edifícios altos, principalmente em situações em que o vento não consegue proporcionar um movimento de ar apropriado: quando a velocidade do vento é baixa ou o vento não tem um padrão previsível [34; 45].

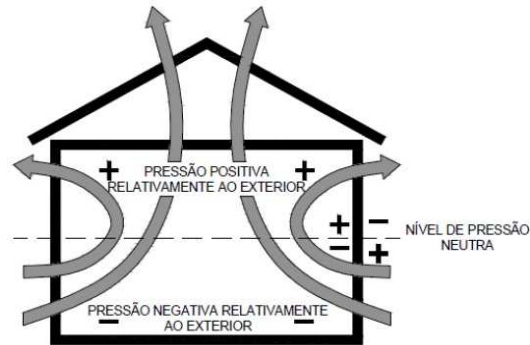


Figura 3.3: Fluxo de ar pela ação de efeito chaminé [45]

A ventilação por ação do vento ocorre quando o vento que atinge o edifício provoca um escoamento à volta deste, gerando na envolvente pressões estáticas superiores ou inferiores à pressão atmosférica. Esta diferença provoca a deslocação do ar no sentido da pressão positiva para a pressão negativa. As pressões positivas sucedem nas zonas da envolvente expostas diretamente à incidência do vento (barlavento) enquanto que as negativas provêm do lado envolvente oposto, o que pode ser observado na figura 3.4 [45].

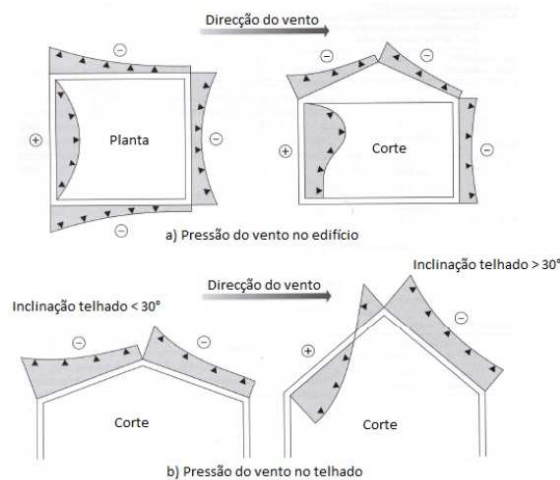


Figura 3.4: Resultado da pressão originada pela ação do vento [45]

A ventilação natural num edifício pode ser fomentada por dois processos: ventilação unilateral e ventilação cruzada. Para impulsionar a ventilação unilateral é aconselhável a aplicação de várias aberturas, afastadas umas das outras, de modo a que os escoamentos dentro do edifício sejam o mais longo e o mais turbulento possível, como mostrado na figura 3.5.

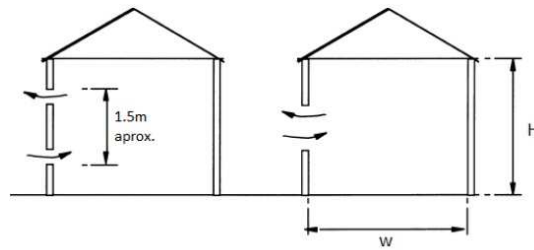


Figura 3.5: Ventilação unilateral [45]

A ventilação cruzada é considerada uma das formas mais eficientes de ventilação natural. Esta é promovida através aberturas em ambos os lados do edifício permitindo assim o percurso de ar dentro do edifício. Estas aberturas podem ser de pequenas dimensões (grelhas) ou de grandes dimensões, como portas ou janelas. Para a maximização da ventilação cruzada, as aberturas devem ser colocadas a barlavento (entrada) e a sotavento (saída). As partições internas e obstruções no espaço afetam e dificultam o normal fluxo de ar, levando a que o efeito da penetração no espaço seja diminuído [45].

3.7 Estratégia do Isolamento do Edifício

Os isolamentos térmicos têm como principal objetivo a proteção do edifício dos excessivos ganhos de calor durante os períodos mais quentes, melhorando o conforto térmico durante todo o ano [46]. O nível de desempenho de um isolamento térmico depende muito da forma como é aplicado. Em países quentes devem ser aplicados continuamente e do lado exterior do edifício. Este procedimento permite aumentar a capacidade de armazenamento da inércia térmica, minimizar as pontes térmicas e os problemas de condensação em superfícies [34; 31].

Nos países quentes, deve-se ter uma especial atenção na aplicação de isolamento nas fachadas e coberturas, uma vez que são as superfícies que têm uma exposição direta à radiação solar. A cobertura é muito vulnerável à radiação solar, comparativamente às fachadas, sendo portanto mais difícil conseguir o seu sombreamento. Neste sentido, é muito importante apostar num correto isolamento térmico da cobertura, utilizando materiais com elevada resistência térmica e sistemas que reduzem a captação da radiação solar [46; 31].

3.8 Inércia Térmica

A inércia térmica de um edifício é descrita pela capacidade que este tem para armazenar calor e frio. Nos países de clima quente é sugerida a utilização de soluções com elevada inércia térmica, uma vez que os edifícios estão sujeitos a grandes amplitudes térmicas durante o dia. A elevada inércia térmica ajuda a atenuar e a atrasar as variações de temperatura nos espaços interiores. A elevada capacidade de armazenamento de calor dos materiais permite que o calor penetre devagar, por condução, através das paredes e coberturas.

A construção tradicional e popular em Cabo Verde envolve o uso de materiais maciços (pedras basálticas, blocos de cimento, betão armado), que conferem inércia térmica aos

edifícios (figuras 3.6 e 3.7). Este tipo de construção é adequado a climas como o de Cabo Verde, quente e seco, com amplitudes térmicas significativas (8 °C a 10 °C) entre o dia e a noite [34].



Figura 3.6: Edifício residencial construída na ilha de São Vicente [34]



Figura 3.7: Pousada Projetada por Álvaro Siza na cidade Velha, ilha do Santiago [34]

A inércia térmica é uma solução temporária ou de transição, visto que após um determinado período de tempo o calor começa a acumular-se na massa do edifício, tornando-a assim numa solução menos eficiente. A utilização da inércia térmica deve, portanto, ser combinada com soluções de ventilação noturna para a remoção do calor acumulado nos edifícios durante o dia.

Esta estratégia é mais difícil de aplicar nos edifícios de serviços devido aos grandes ganhos internos provenientes de ocupantes e equipamentos. No entanto as temperaturas médias diurnas podem, ainda assim, ser diminuídas para valores próximos de média exterior, ou um pouco acima desta, com um desempenho razoável de arrefecimento passivo. Quando são necessários sistemas auxiliares de refrigeração, como o caso de edifícios de “modo misto”, a utilização de inércia térmica elevada pode retardar a necessidade de arrefecimento, e conseqüentemente a redução do consumo energético [34].

3.9 Arrefecimento Evaporativo

O arrefecimento evaporativo é alcançado por um processo adiabático, em que a temperatura sensível do ar é reduzida e compensada por um ganho de calor latente. Tal pode ser conseguido passando uma corrente de ar sobre um lago ou uma fonte com repuxo. O evaporar da água consome uma energia que é subtraída ao calor do ambiente que envolve a toalha de água, provocado assim o arrefecimento [31].

Existem dois tipos de arrefecimento evaporativo, o direto e o indireto. O arrefecimento evaporativo direto baseia-se na redução de temperatura acompanhado de um aumento do conteúdo do vapor de água. Neste caso, o ar exterior é arrefecido por evaporação da água, antes de entrar nos edifícios [31]. A utilização de fontes e vegetação nos pátios, assim como o ato de derramar água no chão e ainda a utilização de grandes vasos de barro poroso cheios de água nos quartos são bons exemplos de técnicas de arrefecimento evaporativo direto. São usados em alguns países mais quentes de África e, como tal também poderão ser aplicadas com sucesso em Cabo Verde [34]. No arquipélago existem alguns exemplos de construções com arrefecimento evaporativo recorrendo a vegetação, como ilustrados na figura 3.8.



Figura 3.8: Arrefecimento evaporativo recorrendo a vegetação, ilha do Sal [34]

Quanto ao arrefecimento evaporativo indireto, este promove o arrefecimento do ar sem que haja aumento do seu conteúdo de vapor de água. São exemplos o arrefecimento através da evaporação nas superfícies expostas à radiação solar ou ao ar. O arrefecimento evaporativo indireto tem um consumo de água bastante reduzido comparado com o sistema direto, mas utiliza aparelhos mecânicos, que podem ser caros e requerer uma elevada manutenção [31].

3.10 Soluções Ativas

Em Cabo Verde, há duas potenciais fontes para a produção de energias renováveis – o **sol** e o **vento** – envolvem tecnologias simples e pouco exigentes a nível de manutenção. Estando o arquipélago rodeado pelo mar, o movimento das ondas e as diferenças térmicas do oceano são outras fontes de energia que o país poderá explorar no futuro. Nas secções que se seguem, as tecnologias de conversão solar e eólica, pelos motivos referidos anteriormente, serão descritas.

3.10.1 Tecnologia de Conversão Solar

• Tecnologia fotovoltaico

A tecnologia fotovoltaica recebe fótons provenientes da radiação solar que incidem sobre as células fotovoltaicas e os átomos que as compõem (figura 3.9). Para este fim são utilizados materiais semicondutores que, face à radiação solar incidente, dão origem a uma corrente elétrica. Por sua vez, os módulos fotovoltaicos são associados em série e/ou em paralelo, de forma a obter as tensões e potências desejadas [47].



Figura 3.9: Painéis fotovoltaicos [47]

Os painéis fotovoltaicos não produzem ruídos ou resíduos, exceto no final da vida útil. Este sistema normalmente é incorporado na cobertura ou nas fachadas dos edifícios e atualmente existem até sistemas de telha fotovoltaica. Esta tecnologia tem uma produção variável de acordo com o clima. Alguns sistemas podem ser autónomos, produzindo a eletricidade para o consumo direto no lugar de produção ou armazenamento. Também existem sistemas ligados à rede, injetando nela a eletricidade produzida [47]. Relativamente a este tipo de produção, distinguem-se os pequenos sistemas distribuídos, de microprodução, e os centralizados (grandes centrais) (figura 3.10) [48].



Figura 3.10: Alguns sistemas fotovoltaicos [48]

Tudo indica que o crescimento do mercado fotovoltaico evidenciado nos últimos anos irá manter-se a curto prazo. As políticas de incentivo empregues por diversos países, bem

como a adaptação da indústria produtora de sistemas fotovoltaicos às maiores necessidades do mercado são os principais motores de evolução e crescimento deste mercado [48]. Atualmente existem vários tipos de células fotovoltaicas para a produção de energia (tabela 3.1).

Tabela 3.1: Tecnologia fotovoltaica e eficiência associada, (adaptado de [48])

Material da Célula	Laboratório	Eficiência Máxima Obtida	
		Produção	Produção em Série
Silício Monocristalino	24,7%	18%	14%
Silício Policristalino	19,8%	15%	13%
Silício Policristalino EFG	19,7%	14%	13%
Película Fina	19,2%	9,5%	7,9%
Silício Amorfo	13%	10,5%	7,5%
Silício Micromorfo	12%	10,7%	9,1%
Híbrido HCl	20,1%	17,3%	15,2%
CIS, CIGS	18,8%	14%	10%
Toluriato de Cádmio	16,4%	10%	9%
Semicondutor III-V	35,8%	27,4%	27%
Célula com Corante	12%	7%	5%

Devido aos custos associados à produção, geralmente são utilizados os silícios para a produção de painéis fotovoltaicos, de entre as quais, o mais utilizado é o silício monocristalino, que apresenta maior eficiência comparativamente aos outros.

Nos últimos anos o custo da energia gerada a partir do sistema fotovoltaico tem sido reduzido na ordem dos 25%, mas este ainda apresenta um custo significativamente mais elevados do que a produção de energia elétrica a partir de recursos energéticos convencionais [47]. Todos os componentes de sistema fotovoltaico necessitam de melhorias, o que poderá contribuir para a redução do custo global da tecnologia. Para silício monocristalino, que domina o mercado da microprodução, já foram feitas algumas previsões relativamente aos componentes BOS (*Balance of Systems*) que têm maior peso a nível global, tendo como base os sistemas residenciais (figura 3.11).

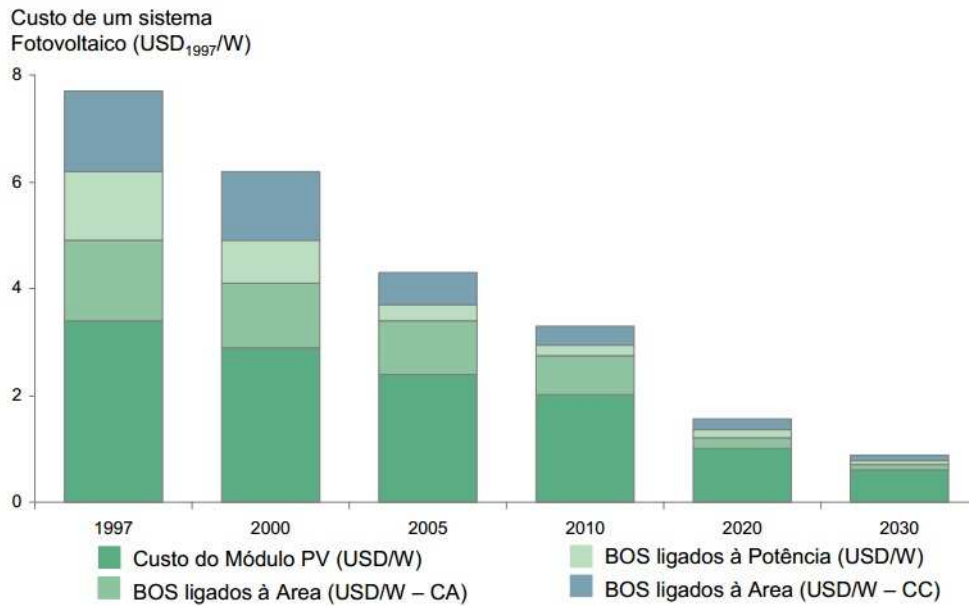


Figura 3.11: Previsões do custo do sistema PV [47]

O esforço para o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaico é pertinente, e assenta na previsão de que serão atingidos valores de custo que tornem o mercado sustentável, a curto e médio prazo. Os últimos dados confirmam uma descida anual nos custos dos sistemas de cerca de 6% (*European Photovoltaic Industry Association*), o que equivale a uma redução para metade a cada 10 anos, mas esta redução varia entre as diversas opções que se encontram disponíveis no mercado [48].



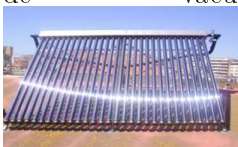


• Tecnologia Solar Térmica

Os sistemas de conversão de energia solar em energia térmica podem ser usados em diversas aplicações, como aquecimentos de espaços, águas quentes sanitárias ou mesmo aquecimento de piscinas.

Regra geral, os sistemas solares térmicos são compostos por um coletor solar, reservatório, permutador, unidade de controlo, sistema de apoio e ainda por uma bomba hidráulica (para sistema de circulação forçada) [47].

Como cada processo tem as suas especificações relativamente às gamas de temperatura de operação, as tecnologias de conversão térmica podem ser caracterizadas conforme esse requisito. Relativamente a esta especificação, existem quatro gamas de temperaturas e as respetivas tecnologias associadas, conforme é apresentado na tabela 3.2.

Tabela 3.2: Coletores solar térmicos e a sua aplicabilidade, (adaptado de [58])

Gamas de Temperatura (°C)	Aplicação/ Tecnologias	Modelo
Baixas temperaturas (até cerca de 90 °C)	<p>Aplicação: aquecimento de espaço; água quente sanitária; aquecimento de piscina.</p> <p>Tecnologias: Coletores planos; Coletores CPC (Coletores Parabólicos Concentradores).</p>	<p>Coletores planos</p>  <p>Coletores CPC</p> 
Médias temperaturas (de 90 a 150 °C)	<p>Aplicação: Meio industrial (produção de vapor); Outros processos de absorção e adsorção. Tecnologia: Coletor Tubo de Vácuo.</p>	<p>Coletor tubo de vácuo</p> 
Elevadas temperaturas (de 150 a 300 °C)	<p>Aplicação: processos industriais de produção de vapor com o intuito de produzir energia elétrica através de turbinas de vapor. Tecnologia: Coletores Cilindro-Parabólicos (sistema seguimento solar).</p>	<p>Coletores Cilindro-Parabólicos</p> 
Temperaturas muito elevadas (maiores que 300 °C)	<p>Aplicação: Centrais solares de produção de eletricidade. Tecnologia: Conjunto de espelhos (helióstatos) que direcionam a radiação solar para um único ponto localizado numa torre, para produção de vapor destinada a uma turbina de expansão que é acoplada a um gerador.</p>	<p>Central de energia solar térmico</p> 

Normalmente no sector dos edifícios para a produção de água quente sanitária (AQS) são utilizados os coletores solares planos. Este fato é devido ao custo associado e também à sua gama de temperatura (60 °C), que é suficiente para as condições exigidas para AQS. A gama de temperatura estabelecida, 60 °C, previne a geração de bactérias (ex: Legionella), propícias em ambiente aquático, que podem provocar infeções respiratórias [54].

3.10.2 Tecnologia de Conversão Eólico



O aproveitamento de energia proveniente de vento também é uma forma de energia limpa e inesgotável. As turbinas eólicas são movimentadas pelo vento. Este alimentam um gerador, que por sua vez, converte energia mecânica em energia elétrica. As turbinas eólicas normalmente são instaladas em locais com maior velocidade do vento, de forma a tirar o maior partido desse fenómeno natural, visto que a energia produzida aumenta com a velocidade do mesmo.

De acordo com alguns estudos realizados, por cada MW de energia eólica produzida são reduzidas entre 0,8 a 0,9 toneladas de gases de efeito de estufa emitidos comparativamente a utilização de combustível fóssil [23].

Tendo em conta que o estudo feito no âmbito desta dissertação incide na geração de energia elétrica em pequena escala, destacam-se as turbinas de pequena dimensão. Estas turbinas são compostas por uma torre, uma cabina e um rotor.

O rotor, componente mais importante do sistema eólico, é responsável pela captação da energia cinética dos ventos, transformando-a em energia mecânica de rotação. É caracterizado pelo número de pás, pela sua forma e pelo ângulo de ataque do vento. A sua configuração influenciará o rendimento global do sistema. Os rotores eólicos podem ser classificados segundo a orientação do seu eixo, horizontal ou vertical (tabela 3.3) [47].

Tabela 3.3: Classificação das turbinas eólicas com a posição do rotor, (adaptado de [59; 39; 60; 61; 62])

Rotores	Vantagens	Desvantagens	Modelo
Eixo Horizontal	Rotor mais eficiente; Podem ser colocados em locais tais como florestas e outros locais remotos assim como no mar (<i>offshore</i>); Mais conhecida e mais utilizada.	Requer um sistema mecânico mais complexo; Precisa de mecanismo de orientação.	Micro-Turbina Horizontal 
Eixo Vertical	Não necessita de mecanismo de orientação; Simplicidade na conceção; Manutenção mais fácil (pois maior parte dos elementos encontram-se junto ao solo).	Não possui arranque automático (necessita de meios exterior de auxílio); Velocidades junto do solo baixas (junto da parte inferior do rotor); Geralmente tem uma eficiência duas vezes menor que as de eixo horizontal.	Micro-Turbina Vertical 

As turbinas de eixo horizontal podem ser classificadas de acordo com a posição do rotor em relação a torre, o disco varrido pelas pás pode estar a jusante do vento (*downwind*) ou a montante do vento (*upwind*). A primeira opção caracteriza-se pelo facto do vento atacar as pás pelo lado de trás, facilitando o auto alinhamento na direção do vento,

enquanto na segunda opção o vento ataca as pás pelo lado de frente da torre, conforme ilustrados na figura 3.12 [61].

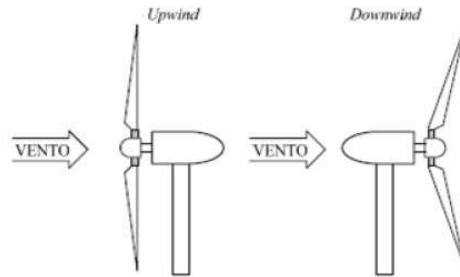


Figura 3.12: Orientação ataque do vento nas turbinas *upwind* e *downwind* [61]

O aumento de número de pás de uma micro-turbina pode ter influência sobre a energia gerada. Se passar de duas para três pás é estimado um aumento de 3 a 5% de energia produzida. Porém este valor vai-se tornando progressivamente menor à medida que se aumenta o número de pás. Este facto tem levado a que a grande maioria das turbinas em operação apresente rotores com três pás, embora a solução com duas pás configure benefícios relacionados com a diminuição de peso e de custo [47].

A cabina é o local onde se encontram albergados os constituintes do aerogerador: o **gerador**, que converte a energia mecânica em energia elétrica; o **veio secundário** que transfere a energia mecânica da caixa de velocidades para o gerador; o **travão de disco**, que permite travar o rotor por questões de segurança; a **caixa de velocidades**, que aumenta o número de rotações do veio secundário; a **chumaceira**, que sustenta o veio primário; e os **radiadores**, que arrefecem o gerador e a caixa de velocidade [47].

As **torres** constituem um elemento necessário para sustentar e posicionar o rotor a uma altura conveniente para o seu funcionamento, isto é, para que a velocidade do vento seja maior e menos perturbada. Quase todas as torres têm uma forma tubular de modo a minimizar o impacto visual, sendo normalmente fabricadas em aço [39].

3.11 Síntese do Capítulo

Neste capítulo analisaram-se as tecnologias e soluções mais interessantes de serem implementadas em Cabo Verde.

Em suma, devido ao seu clima tropical quente e seco, Cabo Verde tem uma elevada necessidade de arrefecimento nos edifícios. Para evitar gastos de energia associados a aparelhos de climatização, é importante a aposta nas construções que se adaptem ao clima do arquipélago (construções bioclimáticas).

Estratégias tais como uma forte inercia térmica, orientação apropriados dos edifícios e sombreamento são das soluções passivas que podem ser abordadas no país. Estas soluções, quando bem concebidas, contribuem para uma diminuição significativa do consumo de energia nos edifícios e auxiliam também a sustentação do conforto nos mesmos.

Depois de serem abordadas estas estratégias de construção local, é essencial a análise do melhor sistema para o fornecimento de energia aos edifícios. De alguns estudos feitos, relativamente aos recursos endógenos, as tecnologias mais interessantes para produção de energia renovável no arquipélago são as tecnologias solar e eólica, devido à sua simplicidade a nível tecnológica e aos baixos requisitos a nível de manutenção.

Capítulo 4

Metodologia de Análise

4.1 Contexto

De modo a atingir os objetivos propostos para este estudo, neste capítulo é feito o apanhado da abordagem realizada e dos meios utilizados para os alcançar.

4.2 Estratégia de Análise

Para alcançar os objetivos propostos nesta dissertação foram utilizados as seguintes estratégias:

1. **Análise de edifícios típicos**– fez-se uma análise dos edifícios típicos em Cabo Verde, tanto a nível construtivo com a nível do consumo energético. Na caracterização dos edifícios considerou-se habitações típicos de zonas urbanas e rurais.
2. **Intervenção para a redução do consumo**– as intervenções para a redução de consumo foram duas abordagens, medidas passivas e ativas. Nas medidas passivas foram feitas melhorias a nível da envolvente, cobertura, e área envidraçada. Para as medidas ativas substituiu-se alguns eletrodomésticos existentes pelos mais eficientes.
3. **Dimensionamento de sistema energético**– foram dimensionados sistemas de produção de energia utilizando fontes de energia renováveis, solar (fotovoltaico e térmico) e eólica. O sistema de produção foi dimensionado tanto para os edifícios de referência como para os com intervenções passivas e ativas, de forma a permitir uma comparação custo-benefício antes e após as intervenções.
4. **Análise de sensibilidade**– analisou-se o impacto que a área envidraçada tem sobre o consumo energético.
5. **Análise do conforto**– estudou-se o nível do conforto nos edifícios típicos urbanos e rurais.

4.3 Softwares Utilizados

A realização das análises, tanto a dinâmica como a dos sistema de produção de energia foram feitas com suporte à ferramentas computacionais.

Atualmente existem diversos *softwares* de apoio a análise de sistemas energéticos. São exemplos de *software* de análise de sistemas energéticos o *LEAP*, o *MESSAGE*, o *RETScreen*, o *WEM*, o *HOMER*, etc.

No sector dos edifícios, a utilização de análise computacional tornou-se cada vez mais relevante, visto que este nos permite prever o desempenho energético e ambiental dos edifícios orientando as decisões de projeto ou comprovando a eficiência e análise custo/benefício dessas mesmas decisões. Através de simulações é possível conhecer o comportamento de cada parâmetro construtivo e abordar de forma integrada os sistemas naturais e artificiais de climatização e de iluminação, respondendo mais adequadamente às condicionantes do clima e a função do edifício [67].

A simulação é a maneira mais eficaz de se estimarem o potencial económico de energia num edifício. O desenvolvimento de programas de análise computacional é a chave para a resolução de questões críticas de desempenho dos edifícios, tais como o conforto dos ocupantes, a eficiência energética, o cumprimento de requisitos de construção e a redução de emissões poluentes [68].

Devido ao grande número de variáveis envolvidas na avaliação do desempenho energético dos edifícios, foram desenvolvidos programas como *DOE*, *BLAST*, *ESP* e *Energy-Plus*, que fazem simulações com dados climáticos, permitindo uma avaliação económica através do consumo de energia das diversas opções simuladas [67].

Não é objetivo desta dissertação o levantamento e caracterização pormenorizada dos vários *softwares* existentes e como tal, nas secções seguintes só serão analisados os utilizados no âmbito do estudo.

4.3.1 *HOMER/RETScreen*

Neste estudo optou-se pela utilização de *HOMER* (análise da produção elétrica) e *RETScreen* (análise da produção de água quente sanitária-AQS) para simulação energética, sendo que estas duas ferramentas estão entre as três ferramentas de planeamento e gestão mais utilizadas dada a vasta base de dados que contempla quase todos os países [29].

O *HOMER* é uma ferramenta desenvolvida em 1997 pela *NREL* (*National Renewable Energy Laboratory*) para auxiliar na conceção, otimização e configuração de sistemas de microprodução. Este modelo permite a simulação de sistemas ligados à rede ou isolados. Permite analisar uma vasta lista de combinações energéticas, tais como, turbinas eólicas, painéis fotovoltaicos, hídrica (rios), biomassa, geradores de combustão interna, micro turbinas, células de combustível, baterias e armazenamento de hidrogénio (figura 4.1) [69; 47].

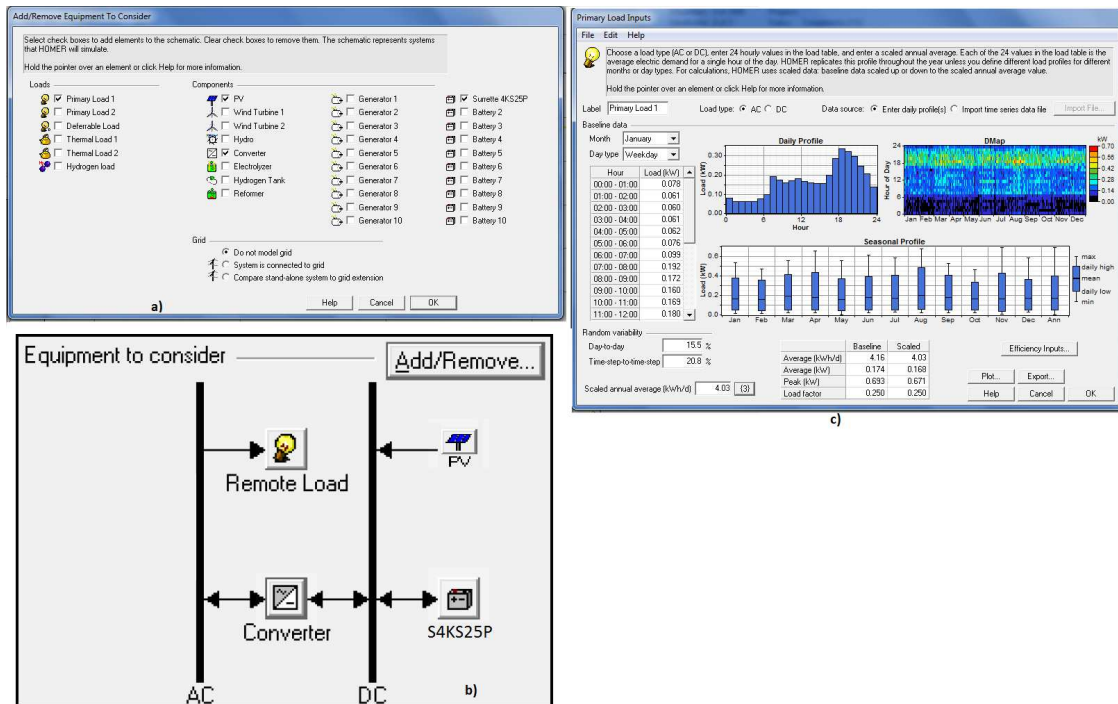


Figura 4.1: Ambiente do programa: a) escolha do sistema de produção, b) escolha de equipamentos, c) definição perfil de carga [HOMER]

O *software* permite também, para cada configuração, uma análise dos parâmetros técnicos, económicos e ambientais. Relativamente às três tarefas realizadas pelo programa (simulação, otimização e análise de sensibilidade) para os sistemas de produção de energia, estes apresentam as seguintes funções [70; 47]:

- **Simulação**— simulação da operação de um determinado sistema energético de modo a garantir uma dada procura, permitindo a exploração de diversas hipóteses através de criação de cenário;
- **Otimização**— simulação das diferentes configurações dos sistemas pretendidas para o estudo, de forma a obter a solução que satisfaça as exigências técnicas desejadas ao menor custo possível;
- **Análise de sensibilidade**— realização de múltiplas otimizações para um variado leque de valores de entrada.

Na figura 4.2 encontra-se ilustrada a relação existente entre as tarefas realizadas pelo *HOMER* na análise de um sistema.

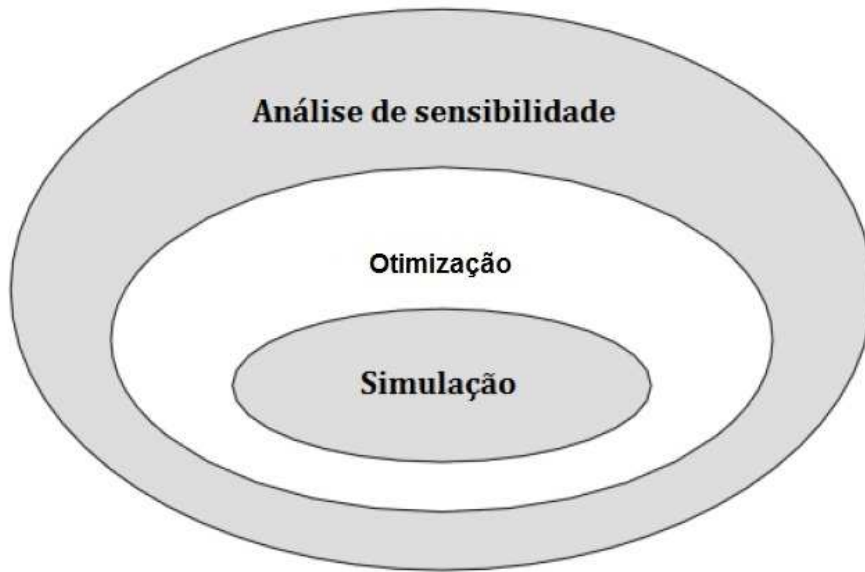


Figura 4.2: Relação entre as tarefas realizadas pelo *HOMER* [47]

O *RETScreen* é um *software* de apoio à tomada de decisão no investimento em energia renovável, que funciona a partir de *Microsoft Excel*. Foi desenvolvido em 1996 com contribuições do governo, indústria, academia e Recursos Naturais de Canadá (figura 4.3). Esta ferramenta é fornecida gratuitamente, e pode ser utilizada em qualquer parte do mundo.

O *software* tem como principais tarefas, a avaliação da produção e economia de energia, a redução de emissões, a viabilidade financeira e de risco para vários tipos de tecnologias de energia renovável (*RET's*) e de eficiência energética. A validação normalmente é feita entre um caso base, tipicamente a tecnologia convencional, e um caso proposto, que normalmente consiste na tecnologia de energia limpa [70]. Também pode ser aplicado na análise de qualquer sistema de produção de energia, desde projetos individuais até aplicações globais. Relativamente aos dispositivos de armazenamento e/ou conversão, o programa apenas considera a bateria de armazenamento de energia e não podem ser modeladas quaisquer tecnologias de transporte (figura 4.3) [70].

Projeto do Sistema de Aquecimento		Aquecedor solar de água	
Tecnologia		<input type="radio"/> Piscina <input checked="" type="radio"/> Água quente	
Características da carga		Caso de referência	
Aplicação		Unidade	Caso proposto
Tipo de carga		Casa	
Número de unidades		Ocupante	6
Taxa de ocupação		%	100%
Uso diário de água quente - estimado		L/d	360
Uso diário de água quente		L/d	360
Temperatura		°C	60
Dias de operação por semana		d	7
<input type="checkbox"/> Percentual de utilização do mês			
Método de avaliação da temperatura de alimentação		Definido pelo usuário	
Temperatura da água - mínima		°C	22
Temperatura da água - máxima		°C	23
Demanda de calor		Unidade	Caso de referência
Avaliação de recursos		MWh	5,7
Sistema de posicionamento solar			5,7
Inclinação		°	Fixo
Azimut		°	30,0
<input type="checkbox"/> Mostrar dado			0,0
Aquecedor solar de água		Verificado	
Tipo		Solahart Industries	
Fabricante		Solahart J	
Modelo			
Área bruta por coletor solar		m²	1,98
Área de Captação por coletor solar		m²	1,87
Coeficiente Fr (tau alpha)			0,72
Coeficiente Fr UL		(W/m²)°C	8,38
Coeficiente de Temperatura de Fr UL		(W/m²)°C²	0,000
Número de coletores			2
Área do coletor solar		m²	3,97
Capacidade		kW	2,61
Perdas diversas		%	5,0%
Balanço do sistema e misc.		Sim	
Armazenamento			
Capacidade de armazenamento / área do coletor solar		L/m²	111
Capacidade de armazenamento		L	414,3
Troca de calor		sim/ão	11,0
Perdas diversas		%	5,0%
Potência da bomba / área do coletor solar		W/m²	10,00
Preço da eletricidade		€/kWh	0,350
Resumo			
Demanda de eletricidade - bomba		MWh	0,1
Calor fornecido		MWh	2,8
Fração solar		%	48%
Sistema de Aquecimento		Caso de referência	
Verificação do projeto		Caso proposto	
Tipo de Combustível		Eletricidade	Combustível definido pelo usuário
Eficiência Sazonal		80%	89%
Consumo de combustível - anual		MWh	7,2
Preço do combustível		€/kWh	1,500
Custo do combustível		€	999

Figura 4.3: Exemplo do interface *RETScreen* [*RETScreen*]

4.3.2 *DesignBuilder*

Para a simulação dinâmica dos edifícios utilizou-se o *DesignBuilder*, uma vez que é um dos *softwares* mais utilizado para o efeito. Para a simulação do comportamento dos edifícios através de ferramentas de simulação dinâmica é necessária, essencialmente, a execução de três tarefas [71]

- **Criação de modelo**— nesta fase executa-se uma representação esquemática do edifício modelo (3D) que se pretende analisar;
- **Simulação**— caracterização do modelo na ferramenta de simulação, ajustando-se a este de modo que os resultados obtidos reflitam no que se pretende avaliar;
- **Análise de resultados**— fase onde se analisam os resultados obtidos pela ferramenta de simulação, de forma a produzir os indicadores de performance que se pretende quantificar.

O *DesignBuilder* é a primeira interface gráfica de tratamento exaustivo para o programa de simulação térmica dinâmica, *EnergyPlus*. A integração de *EnergyPlus* no ambiente do *DesignBuilder* foi concebida de modo a permitir facilmente a simulação energética, sendo apenas necessário definir o modelo de construção e inserir os dados necessários. A ferramenta informática trata da simulação dos detalhes (figura 4.4) [71].

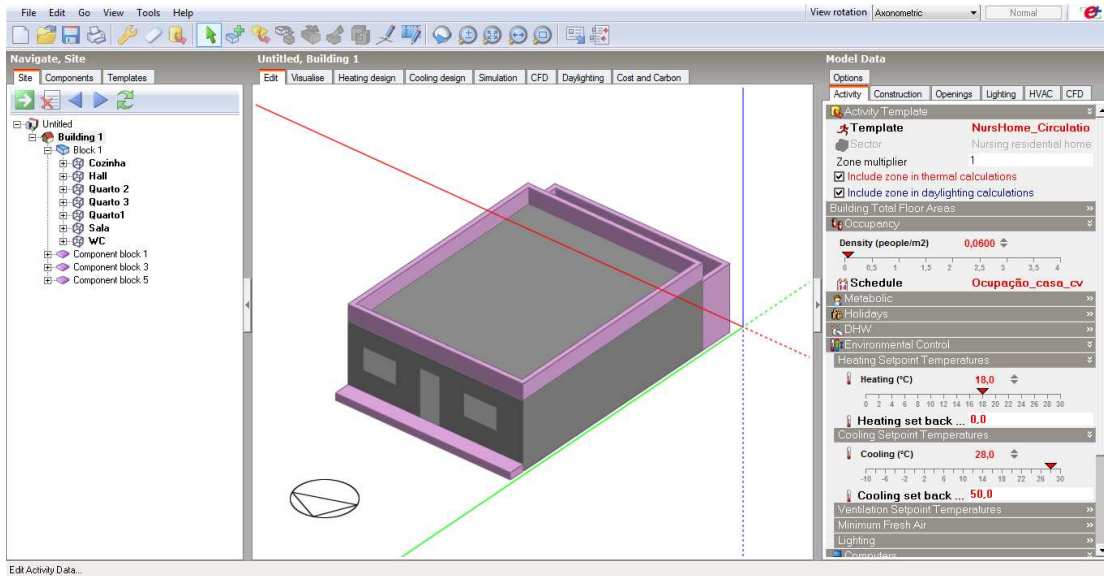


Figura 4.4: Interface gráfica do programa [DesignBuilder]

Através do programa pode ser feita uma modelação 3D do edifício de uma forma fácil e rápida, manipulando-a sem limitações de geometrias tridimensionais [71]. Esta ferramenta, como interface do *EnergyPlus*, tem sido cada vez mais comum entre projetistas e peritos certificados, possibilitando a construção e caracterização do modelo do edifício. No que concerne à simulação, reproduz um caso real através de um modelo que avalia o comportamento térmico quando submetido a diferentes condições, tais como fatores ambientais, características dos materiais da envolvente do edifício, taxa de ocupação, iluminação, equipamentos e outros [72].

4.4 Resultados Esperados

Após a introdução correta dos dados nos programas utilizados, de uma forma geral, são esperados como dados de saída, do *HOMER* os sistema de produção ótima para a energia elétrica, do *DesignBuilder* as necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício e do *RETScreen* a viabilidade económica da produção de AQS e redução das emissões.

4.5 Síntese do Capítulo

Neste capítulo apresentou-se a abordagem utilizada para a análise do problema em estudo bem como a caracterização dos *software* selecionados para a realização das análises (*DesignBuilder*, *HOMER* e *RETScreen*).

Capítulo 5

Definição de Caso Estudo

No capítulo que se segue serão apresentados os dados utilizados para a realização deste trabalho. Para o conforto consideraram-se temperaturas que variam entre 18 °C e 28 °C, sendo estes os valores ótimos para o clima e as condições locais de Cabo Verde [34]. Deu-se mais ênfase às necessidades de arrefecimento visto que o aquecimento é praticamente desnecessário, o que foi provado pela bibliografia consultada e confirmado nesta dissertação pela simulação realizada.

5.1 Considerações Gerais

Para a realização desta dissertação consideraram-se os dados da ilha de Santiago, exceto os dados do ficheiro climático introduzido para a simulação dinâmica, visto que esta informação não existe na base de dados do *DesignBuilder*. Optou-se pela utilização do ficheiro climático de Senegal (Dakar), que é um país de clima quente, caracterizado também pela curta época de chuva e que se encontra relativamente próximo de Cabo Verde. Na figura 5.1 pode-se observar a distância entre as capitais dos dois países.

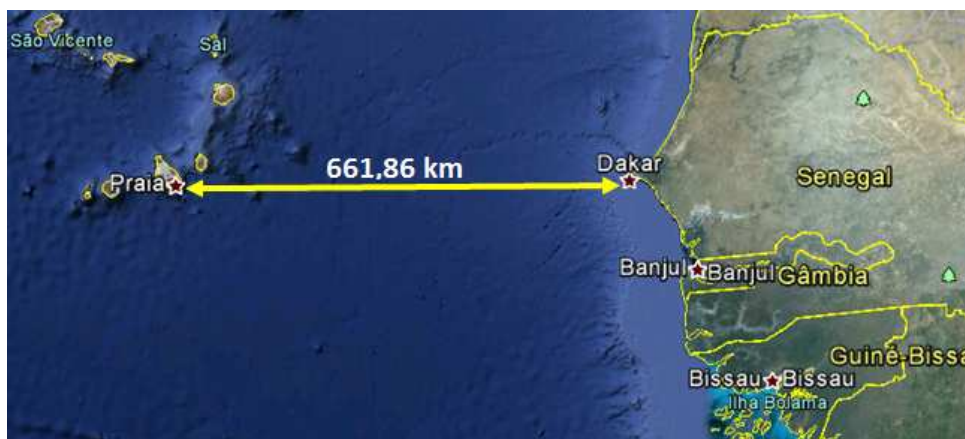


Figura 5.1: Distância cidade da Praia–Dakar [google earth]

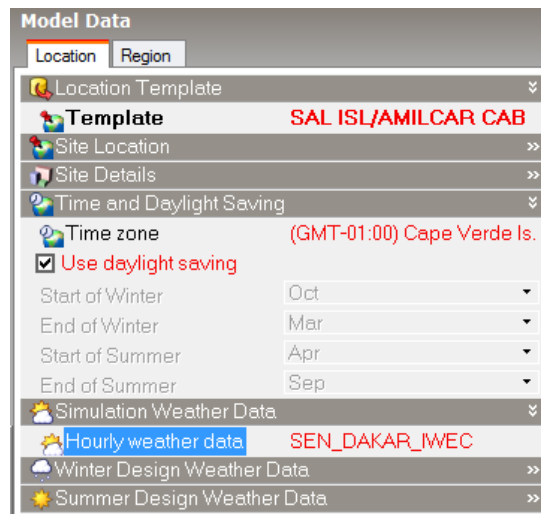


Figura 5.2: Escolha do dado climático no programa [DesignBuilder]

A ilha de Santiago é a maior ilha de Cabo Verde (aproximadamente 1000 km^2) com cerca de 50% da população do país. Nesta ilha fica situada a capital do país, cidade da Praia, sendo também a que apresenta maiores problemas a nível energético no arquipélago. Na figura 5.3 pode observar-se o mapa da ilha de Santiago.



Figura 5.3: Ilha do Santiago [49]

5.1.1 Radiação Solar

Para a obtenção da radiação solar da ilha de Santiago foram utilizados os dados do site da NASA a partir do *link* disponibilizado no *HOMER* para a latitude de 14.58' Norte e 23.30' Oeste (figura 5.4). A radiação média anual é de 6,15 kWh/m²/dia.

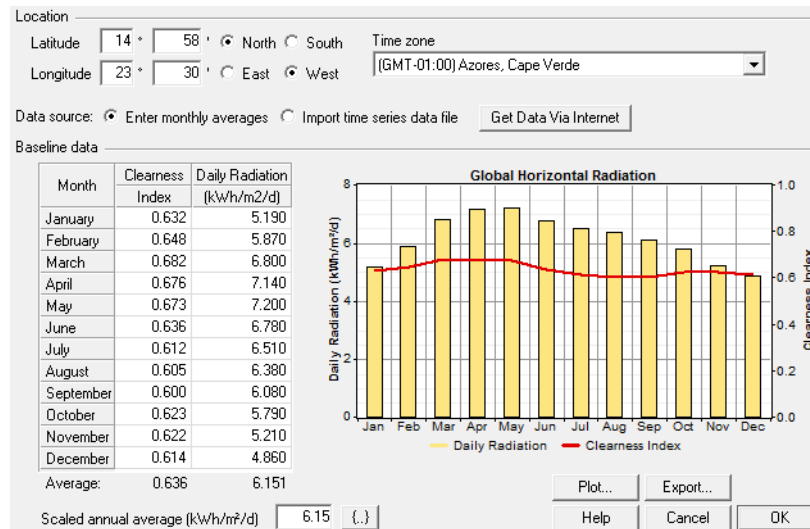


Figura 5.4: Radiação horizontal da ilha do Santiago [*HOMER*]

5.1.2 Velocidade do Vento

Para a determinação da velocidade média mensal do vento da ilha de Santiago, utilizaram-se os dados dos estudos de Norgard et al. e Edmilson Cardoso e, através do *HOMER*, foram sintetizadas as velocidades para as 8760 horas do ano com base nos seguintes parâmetros [29; 50]:

- **The Weibull k value (k):** mede a distribuição da velocidade do vento num ano. Quanto menor, maior é a variação da velocidade ao longo do ano. Normalmente considera-se **k** igual a 2. Para este estudo, utilizou-se $k=3,7$ (30 m de altura), valor obtido no estudo de Lundsager et al. no parque eólico da ilha de Santiago [51];
- **The autocorrelation factor (r1):** mede a aleatoriedade do vento. Valores elevados refletem que a velocidade de vento verificada numa determinada hora depende do valor da velocidade da hora anterior;
- **The diurnal pattern strength (δ):** mede o quão forte a velocidade do vento depende da hora do dia. Valores elevados indicam grande relação entre os dois fatores e valores menores indicam que não existe uma relação forte entre a velocidade do vento e a hora do dia. O valor utilizado vulgarmente é 0,3 e, como tal, foi utilizado neste estudo;
- **The hour of peak wind speed :** é a hora do dia que tende a ser mais ventoso. Neste estudo considerou-se 15h :00 como a hora de pico da velocidade do vento.

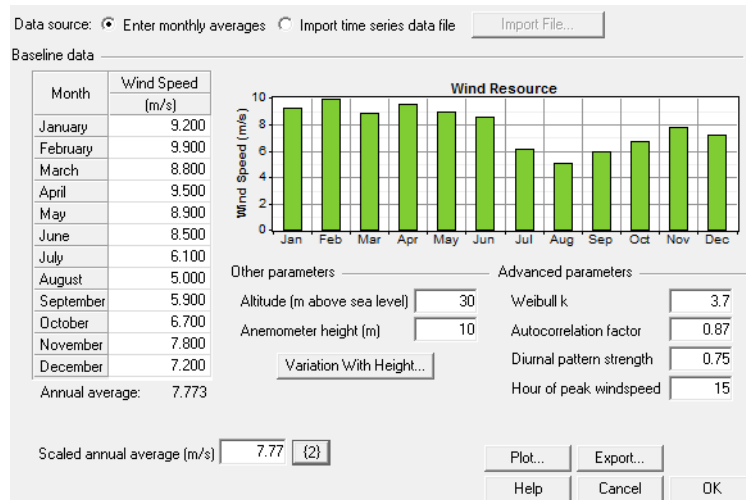


Figura 5.5: Velocidade média de ilha de Santiago [HOMER]

Da figura 5.5 pode observar-se que a velocidade média mensal do vento encontra-se entre os 5 e 10 $\frac{m}{s}$, apresentando uma média anual de 7,77 $\frac{m}{s}$. Com base no estudo realizado por Edmilson Cardoso, para a análise de sensibilidade da produção de energia no edifício rural, considerou-se uma velocidade média anual de 5,4 $\frac{m}{s}$, sendo que muitas vezes os edifícios têm constrangimentos geográficos, por serem construídos em locais com pouca qualidade de vento [29].

5.2 Edifício Urbano

5.2.1 Arquitetura

Para este estudo considerou-se um edifício unifamiliar de um piso como habitação típica da zona urbana (figura 5.6). Esta consideração teve como base, o cruzamento de dados do INE de Cabo Verde e a troca de ideias com alguns arquitetos.

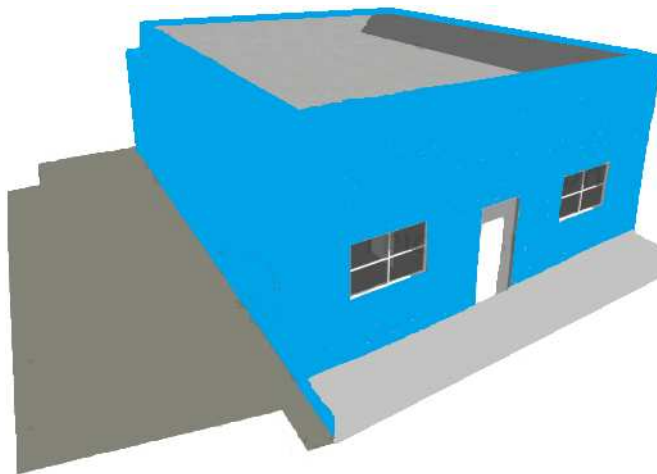


Figura 5.6: Habitação urbana unifamiliar [HOMER]

Uma habitação típica é constituída por três quartos, uma sala e uma casa de banho, sendo a área útil de pavimento de aproximadamente 80 m^2 . O pé direito considerado foi de 2,76 m. A planta do edifício encontra-se representada na figura 5.7.

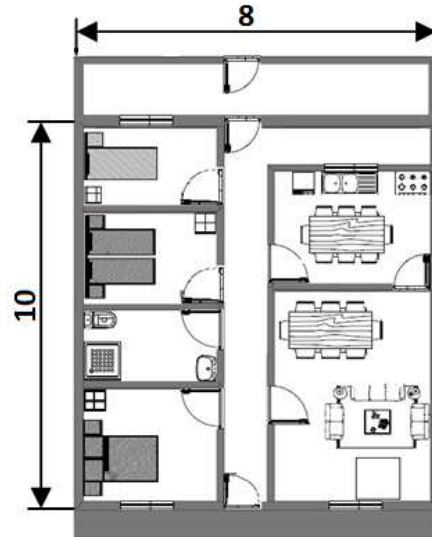


Figura 5.7: Planta da habitação urbana

A Parede da envolvente exterior da habitação tem $0,2 \text{ m}$ de espessura, constituído em blocos de cimento com reboco exterior e interior. A cobertura é constituída por Betão ($0,2 \text{ m}$) e camada regulizadora ($0,03 \text{ m}$)

Segundo Adriano Carotenuto a taxa média de infiltração de ar para um edifício considerado bem vedado é de $0,2$ renovações por hora, enquanto que, para um que é considerado mal vedado é de 2 renovações por hora [52]. Perante o exposto foi considerada uma taxa de infiltração intermédia de $0,75$ renovações por hora, influenciada também pela tendência que as pessoas têm nestes tipos de países de clima quente em abrir as portas e as janelas. Relativamente à habitação urbana, considerou-se que normalmente tem casas ao seu redor. Na figura 5.8 apresenta-se a estratégia utilizada no *DesignBuilder* para a simulação dinâmica da habitação urbana.

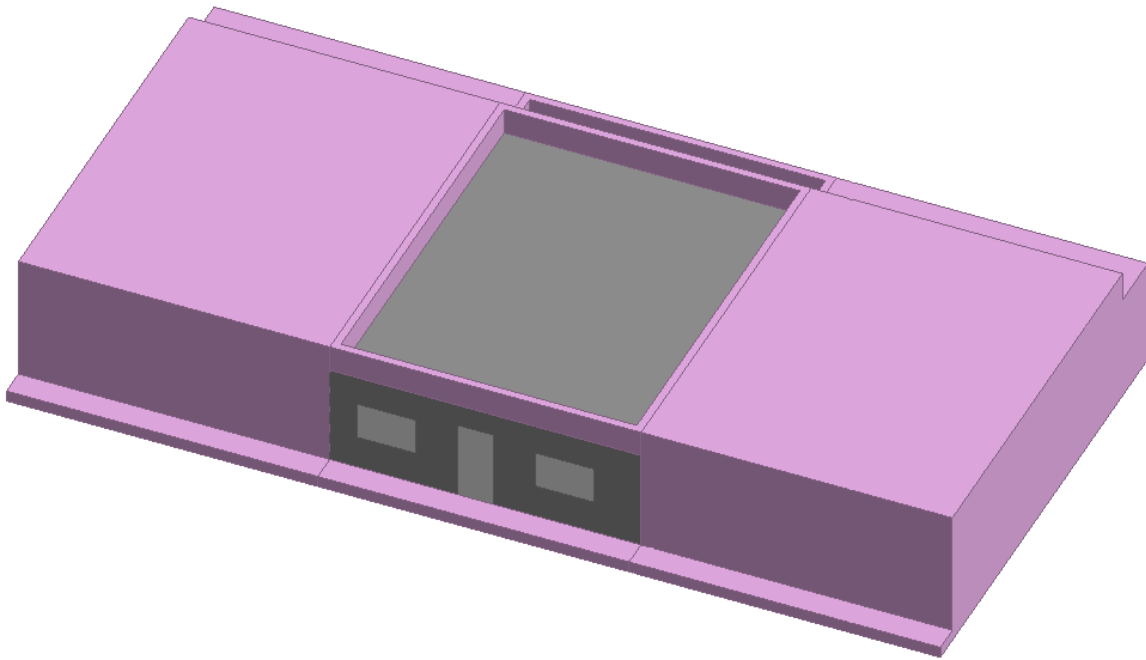


Figura 5.8: Estratégia de simulação urbana [*DesignBuilder*]

5.2.2 Consumo Energético

Para a determinação consumo elétrico, considerou-se o número, a potência e o tempo de utilização diária de equipamentos. Na Tabela A.1 (Anexo-Consumo Energético dos Equipamentos) são apresentados detalhadamente os valores estimados dos consumos anuais por equipamentos, o tempo de utilização e as respetivas potências. Na tabela 5.1 podem ser observados os consumos anuais de cada equipamento e o consumo elétrico total do edifício. Todos estes dados foram retiradas do estudo apresentado por Edmilson Cardoso [29].

Tabela 5.1: Consumo energético dos equipamentos

Equipamentos	Consumo anual (kWh/ano)
Iluminação	350,4
Frigorífico	233,6
Arca frigorífica	474,5
Micro-ondas	365
Computador	73,15
DVD	219
Televisão	5,11
Aparelhagem	146
...continua na próxima pagina	

Tabela 5.1 Continuação da Tabela

Equipamentos	Consumo anual (kWh/ano)
Ferro de Engomar	73
Máquina lavar roupa	109,5
Climatização	129,66 ¹
Outros	55
Total	2277,72

O perfil de consumo de energia elétrica no edifício, durante um dia, são apresentadas na figura 5.9 e têm por base o estudo realizado por Edmilson Cardoso [29]. Este consumo foi adaptado para o consumo médio diário do edifício.

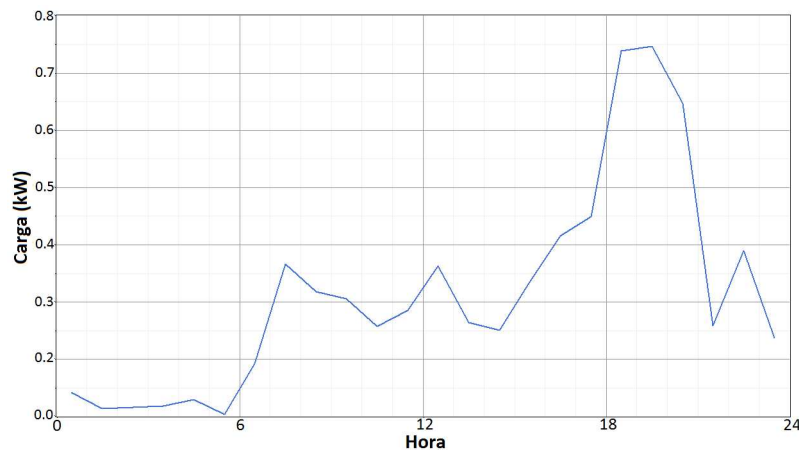


Figura 5.9: Diagrama de carga edifício urbano [HOMER]

Considerou-se que o edifício tem uma ocupação de $0,063 \frac{\text{ocupantes}}{\text{m}^2}$ durante os sete dias da semana. Assumiu-se que durante a semana, das 19h :00 as 07h :30 a habitação encontra-se 100% ocupada, das 08h :00 as 12h :30 e das 15h :00 às 18h :30 a ocupação é de 25%, e das 13h :00 as 14h :30 uma ocupação de 100%. Quanto ao fim de semana, das 19h :00 às 08h :00 encontra-se 100% ocupada, e das 09h :00 às 12h :00, bem como das 15h :00 às 18h :00, apresentam uma ocupação de 50%. Das 13h :00 as 14h :00 com uma ocupação de 100 % (Anexo A.3).

¹Através da simulação no *DesignBuilder* para a orientação ótima

5.2.3 Sistema de Produção de Energia

• Produção Energia Elétrica

Para a produção de energia elétrica do edifício urbano considerou-se o sistema de micro-produção fotovoltaica (figura 5.10). Não foi considerada a energia eólica na zona urbana, mesmo em situações de casas isoladas. A elevada rugosidade, provocada pelos edifícios, altera a camada limite atmosférica, tornando o perfil de velocidade mais alto, o que resulta em ventos mais fracos para uma mesma altitude [53].

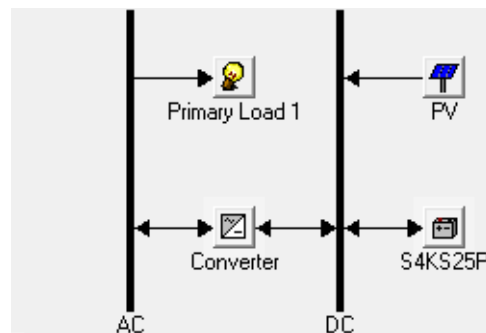


Figura 5.10: Configuração de sistema de produção elétrica [HOMER]

Devido a atual política do governo, que garante a isenção da taxa alfandegária aos equipamentos para a produção de energias renováveis, considerou-se que o custo dos materiais, em Cabo Verde, mantém-se aproximadamente igual aos praticados no mercado internacional [75].

Foram utilizados os módulos fotovoltaicos da BP Solar, de 180 W, cujo preço é 418 €. De acordo com Cristina Eusébio, os custos de operação e manutenção são normalmente de 1 ou 2 % do investimento total [55]. Como o custo de manutenção não é muito relevante, considerou-se como sendo 2 % do investimento total do sistema. Quanto à bateria, utilizou-se uma da *Surrete* com um custo de 947 € por unidade e um inversor de 275 W da FF Solar, que custa 273 € (tabela A.5 do anexo).

O tempo de vida do projeto é de 20 anos, as baterias e os inversores têm um tempo de vida mais curto, aproximadamente 12 anos. Considerou-se um custo de 1100 € para a instalação completa do sistema.

• Produção Águas Quentes Sanitárias (AQS)

O sistema de produção de água quente sanitária em Cabo Verde, apesar de não ser comum, a sua utilização tem aumentado nos últimos anos. Atualmente os que existem funcionam a base da eletricidade [25].

Para análise, Considerou-se um edifício de 5 habitantes, uma temperatura de aquecimento de 60 °C, e uma temperatura média anual água distribuída na rede pública de 23 °C, disponibilizado pela ELECTRA [27; 80] (figura A.1 do anexo). Foram utilizados os dados climáticos da cidade da Praia (ilha de Santiago), um tempo de vida do projeto de 20 anos e um tempo de funcionamento de 7 dias por semana. O coletor utilizado é da marca *Solarhart J* com uma inclinação de 30 ° de forma a maximizar a sua eficiência [34].

Os custos foram calculados e estimados a partir de valores reais apresentados em catálogos e em alguns trabalhos realizados. Segundo João Santos, o preço de instalação

de coletor solar térmico é de 125 €/m^2 em Portugal [76]. Para a instalação em Cabo Verde foi considerado o valor de 200 €/m^2 . O coletor custa 525 € a unidade e foram considerados mais 450 € para os sistemas auxiliares. A eletricidade em Cabo Verde custa $0,35 \text{ €/kWh}$ e o gás butano $1,5 \text{ €/kg}$ [81].

5.3 Edifício Rural

5.3.1 Arquitetura

O edifício típico rural considerado, tal como na zona urbano, é de tipologia unifamiliar e constituído por um piso (figura 5.11).



Figura 5.11: Habitação rural unifamiliar [HOMER]

A casa é constituída por três quartos, uma sala, uma casa de banho e um armazém, com aproximadamente 81 m^2 de área útil de pavimento. Na figura 5.12 encontra-se ilustrada a planta do edifício rural considerado.

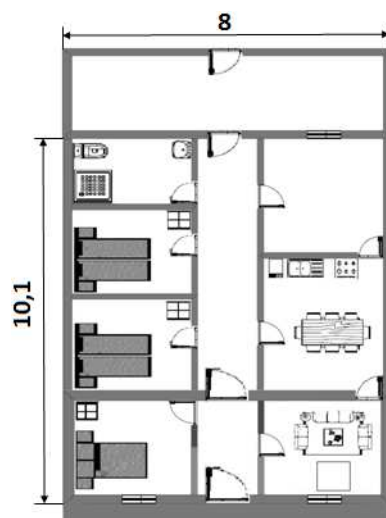


Figura 5.12: Planta da habitação rural

A fachada exterior da habitação tem 0,33 *m* de espessura, construído em pedra basáltica com reboco exterior e interior. A habitação tem uma cobertura mista, com telhado de duas águas e cobertura plana constituída por betão (0,2 *m*) e camada regulizadora (0,03 *m*). Foi considerada uma taxa de infiltração de 0,75 renovações por hora e uma distribuição dispersa das habitações, ou seja, as casas encontram-se afastas uma das outras (figura 5.13).

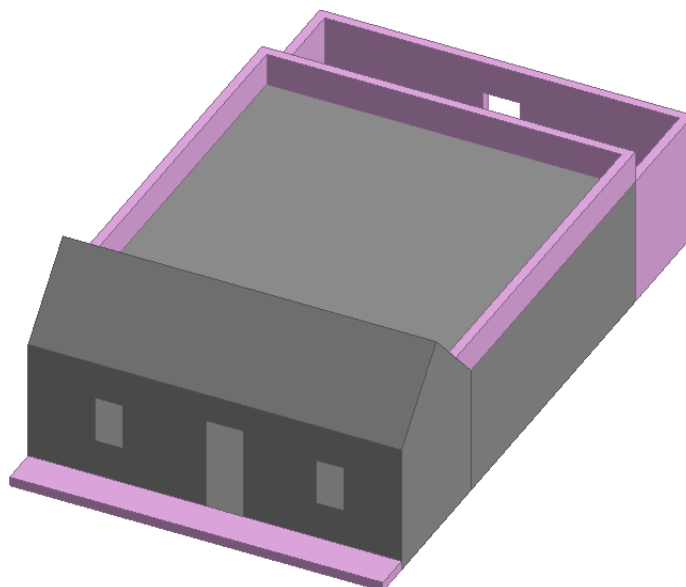


Figura 5.13: Estratégia de simulação rural [*DesignBuilder*]

5.3.2 Consumo Energético

O cálculo em detalhe do consumo da eletricidade no edifício rural encontra-se na tabela A.2 (Anexo-Consumo Energético dos Equipamentos). Na tabela 5.2 encontram-se explicitados os consumos anuais por equipamento.

Tabela 5.2: Consumo energético dos equipamentos

Equipamentos	Consumo anual (kWh/ano)
Iluminação	350,4
Frigorífico	474,5
Arca frigorífica	365
Micro-ondas	52,56
Computador	219
DVD	4,26
Televisão	109,5
Aparelhagem	29,2
Ferro de Engomar	43,8
Máquina lavar roupa	109,5
Climatização	195,41 ²
Outros	33,09
Total	2219,82

A figura 5.14 apresenta o perfil de consumo diário do edifício. Quanto ao horário de ocupação, considerou-se o mesmo que uma habitação urbana, mas com maior número de ocupantes, $0,074 \frac{\text{ocupantes}}{\text{m}^2}$.

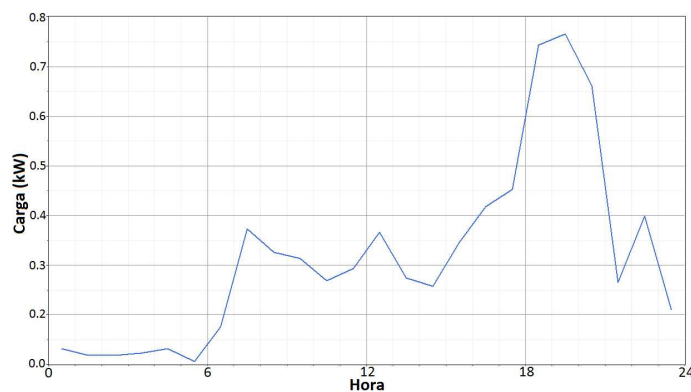


Figura 5.14: Diagrama de carga edifício rural [HOMER]

²Através da simulação no *DesignBuilder* para a orientação ótima

5.3.3 Sistema de Produção de Energia

- Produção Energia Elétrica

Para a produção de energia elétrica no meio rural, considerou-se a combinação entre a energia eólica e fotovoltaica, uma vez que as habitações rurais apresentam melhores condições para aplicação de tecnologia eólica (figura 5.15).

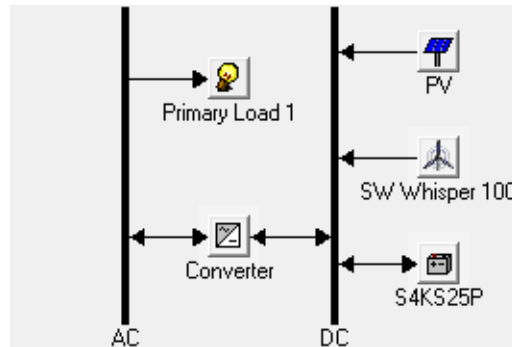


Figura 5.15: Configuração de sistema de produção elétrica [HOMER]

Para o sistema fotovoltaico considerou-se que os custos nas zonas urbanas e rurais são equivalentes. Relativamente ao sistema eólico utilizou-se o preço apresentado no catálogo da FF solar, 2400 €. Segundo Rui Castro, o encargo de O&M é aproximadamente 1% do investimento total [56].

Na figura 5.16 apresenta-se a curva de potência da micro-turbina utilizada em função da velocidade do vento.

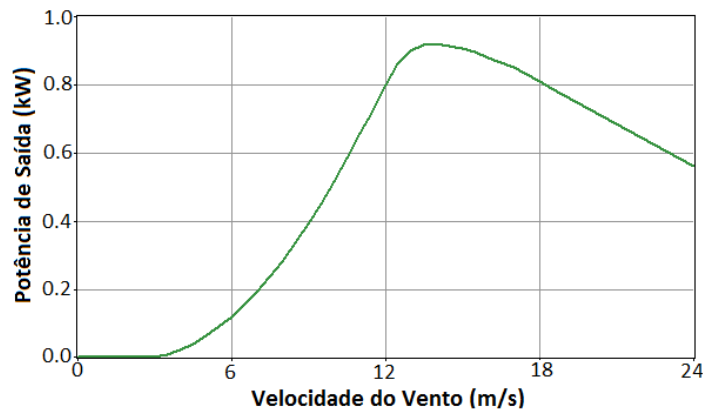


Figura 5.16: Curva de potência da turbina eólica [HOMER]

Também foi considerada a utilização de sistema solar térmico para a produção de águas quentes sanitárias para seis pessoas.

5.4 Modelação de Níveis de Intervenção

Para a realização das intervenções nos edifícios, foram estabelecidos dois níveis. O primeiro consiste na melhoria dos aspetos construtivos, as chamadas medidas passivas, com vista a melhorar as condições das habitações através das intervenções a nível da fachada, cobertura e áreas envidraçadas. Num segundo nível, para demonstrar a importância da eficiência dos equipamentos sobre o consumo de energia, aplicou-se as medidas ativas através da substituição dos eletrodomésticos pelos mais eficientes.

5.4.1 Nível I-Medidas Passivas

- **Edifício Urbano**

Tanto para o edifício urbano como rural as intervenções passivas foram feitas após o cálculo da orientação ótima das habitações de referência.

- **Envolvente Exterior**

Segundo as literaturas recomenda-se, que nos países quentes, as habitações tenham uma boa inércia térmica e que o isolamento seja aplicado pelo exterior da envolvente, de forma a evitar pontes térmicas no edifício. Na tabela 5.3 encontra-se exemplificada a solução utilizada para o edifício urbano para alcançar o coeficiente de transferência de calor ótima (U de referência) para fachada exterior.

Tabela 5.3: Solução construtiva da fachada exterior

Material	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	M_{si} (kg/m ²)
EPS	0,05	0,037	
Bloco de cimento	0,17	0,66	329,2
Reboco	0,015	1,3	

Relativamente a espessura do isolamento optou-se por uma espessura 0,05 m. Para a escolha utilizou-se dois critérios, o valor indicado pelas literaturas para regiões quentes e o impacto que este tem na estética dos edifícios existentes. Quanto a tecnologia de isolamento, considerou-se o sistema capoto com o isolamento a base de EPS. Escolheu o sistema do capoto devido a facilidade de aplicação, pois pode ser aplicação diretamente na fachada do edifício (pré-fabricado), por isso demonstra ser uma boa solução quer para os edifícios existentes, quer para os novos (figura 5.17).

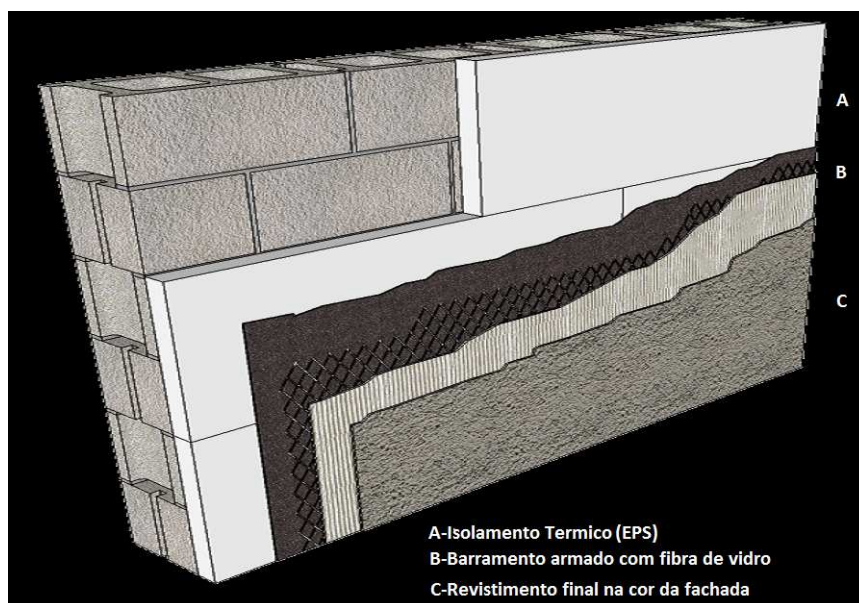


Figura 5.17: Aplicação do capoto [77]

Quanto à cobertura, tal como na fachada, considerou-se a aplicação do isolamento pelo exterior. Para a aplicação do isolamento utilizou-se o sistema de lajeta. Este sistema pode facilmente ser incorporado a um edifício existente, uma vez que a estrutura já vem preparada de forma a não ter influências no funcionamento da cobertura do edifício, como por exemplo, no escoamento da água da chuva, circulação de pessoas, etc. O isolamento utilizado no sistema é o XPS, uma estrutura rígida e uniforme em pequenas células que confere uma absorção nula de água.

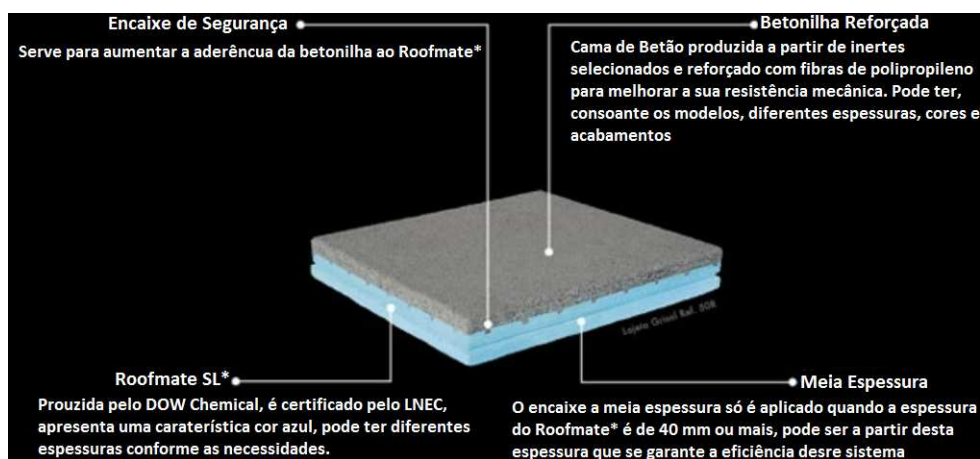


Figura 5.18: Lajeta térmica [78]

- Área Envidraçada

Para área envidraçada, analisou-se duas opções de intervenção, mudança de vidro simples para vidro duplo e a implementação do sistema de proteção (sombreamento). A carta solar apresentada na figura 5.19 contém as informações utilizadas para o dimensionamento das proteções solares. Esta permite retirar algumas conclusões acerca de possíveis proteções e possibilita uma análise mais cuidada para resolução de problemas de insolação e sombreamento do área envidraçada.

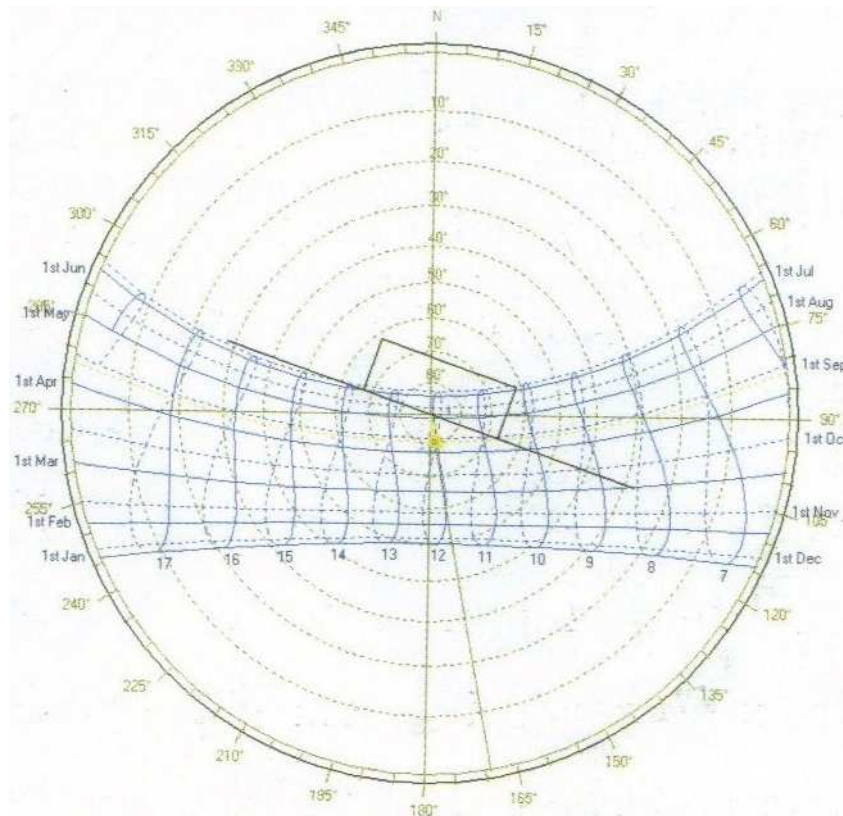


Figura 5.19: Carta solar [34]

Normalmente a orientação a sul é recomendada para o hemisfério norte, por ser a que mais otimiza os ganhos solares para aquecimento durante a estação fria. Porém, em regiões quentes como Cabo Verde deve ser evitada a orientação a sul, pela forte incidência solar [34]. Através da orientação ótima calculada neste trabalho, definiu-se o sistema de sombreamento da área envidraçada.

Para análise da ventilação natural, tanto para a habitação urbana como rural, foi considerado que com as melhorias efetuadas no edifício, este passa a ter uma boa vedação, logo uma taxa de infiltração de 0,25 renovações por hora. Para o estudo considerou-se taxa mínima de 0,6 renovações por hora, valor de referência considerado para os edifícios residências em Portugal. Para calcular a taxa de ventilação natural utilizou-se o método *scheduled natural ventilation* do *DesignBuilder*, que tem como input, as aberturas das portas e janelas e a taxa de ocupação do edifício.

• Edifício Rural

No edifício rural foi utilizada a mesma abordagem de construção passiva aplicada à habitação urbana. Na tabela 5.4 encontra-se o exemplo da solução que poderá ser aplicada para encontrar o U de referência da fachada.

Tabela 5.4: Solução construtiva a nível da fachada exterior

Material	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	M_{si} (kg/m ²)
EPS	0,05	0,037	930
Pedra basáltica	0,3	1,1	
Reboco	0,015	1,3	

Além das medidas referidas anteriormente, também aplicou-se o sistema de isolamento lã de rocha em estrutura de teto falso, com gesso, na parte inferior do telhado, uma vez que grande parte de edifícios com telhado na zona rural de Cabo Verde não possui este tipo de proteção (figura 5.20). Com o sistema de lã de rocha, reduz-se a área a climatizar, o que evita a existência de ganhos excessivos de calor da cobertura para o interior do edifício, consequentemente menos consumo de energia para a climatização.



Figura 5.20: Sistema de isolamento do telhado [DesignBuilder]

Na figura 5.21 encontra-se esquematizado a aplicação do sistema lã de rocha na parte inferior do telhado.

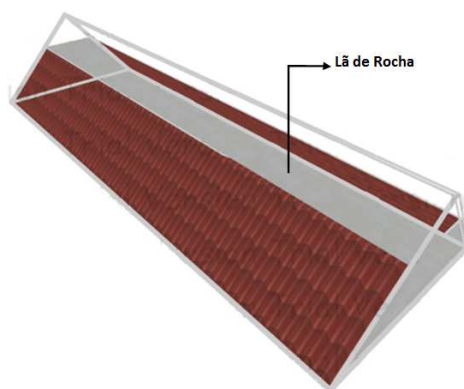


Figura 5.21: Local de aplicação lã de rocha [DesignBuilder]

5.4.2 Nível II-Medidas Ativas

Quanto ao nível II foram substituídos alguns equipamentos elétricos pelos mais eficientes tanto para o edifício urbano como para o edifício rural, de forma a contribuir para a redução de consumo de energia na habitação. Estas foram aplicadas após as intervenções passivas.

Em termos de equipamentos, substituiu-se a televisão de raios catódicos, por uma mais eficiente, de classe A (LED) com 40 *W* de potência para habitação urbana e 30 *W* para habitação rural, as lâmpadas incandescentes de 60 *W* para os fluorescentes compactos de 13 *W* e 40 *W* para os de 8 *W*. O frigorífico e arca também foram substituídos para modelos mais eficientes. Normalmente o frigorífico e a arca têm em média de 6 a 10 horas de funcionamento diária. Uma vez que em Cabo Verde as pessoas não têm por hábito a utilização intensiva do frigorífico e da arca, considerou-se de 7 *h* o tempo de funcionamento diária do frigorífico e 4 *h* diária para a arca (a arca é aberta, em média, duas vezes por dia). Na tabela A.3 e A.4 em anexo encontram-se em detalhe a hora, potência e consumo por equipamento.

Capítulo 6

Resultados e Discussão

6.1 Edifício Urbano

6.1.1 Orientação Ótima

Para a determinação da orientação ótima, foi analisado o impacto da orientação do edifício sobre o consumo de energia na climatização (figura 6.1). Da análise obteve-se que a orientação ótima para o edifício urbano é 20 °N (figura 6.2).

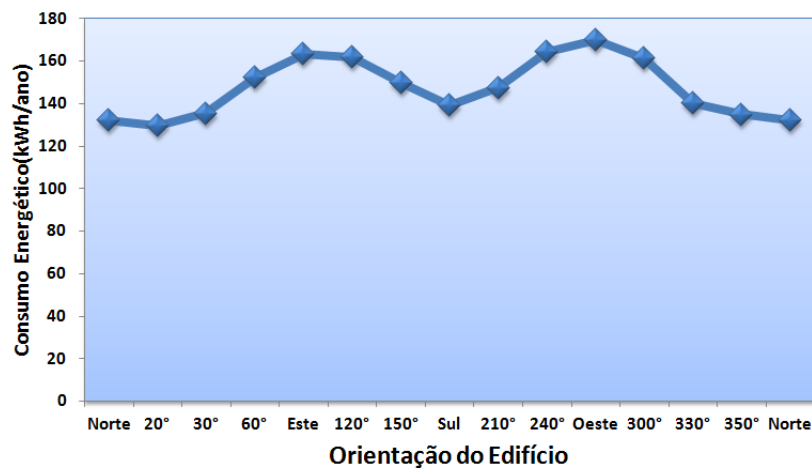


Figura 6.1: Impacto da orientação sobre consumo de energia na climatização [*Design-Builder*]

Da análise da figura 6.1 verifica-se que existe uma diferença significativa em termos do consumo energético, entre a melhor (130 kWh/ano) e a pior orientação (170 kWh/ano), aproximadamente 24%.

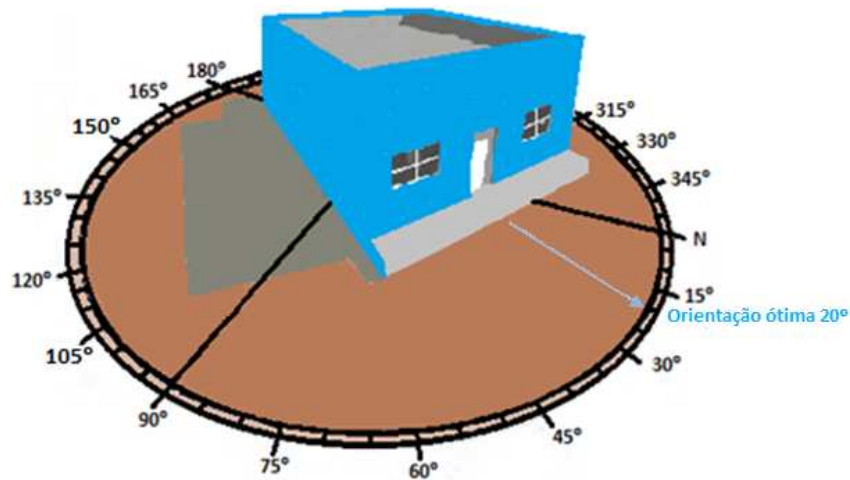


Figura 6.2: Orientação ótima (adaptado de [DesignBuilder])

6.1.2 Nível I- Medidas Passivas

Todas medidas de eficiência aplicadas aos edifícios (rural e urbano) foram realizadas com a habitação posicionada na orientação ótima.

- **Ventilação Natural**

Da simulação feita no *DesignBuilder* obteve-se que não é possível garantir a taxa mínima de 0,6 renovações por hora recorrendo apenas a ventilação natural. A partir da análise da figura 6.3 é possível confirmar que o valor máximo de renovação observada foi aproximadamente 0,36 renovações por hora.

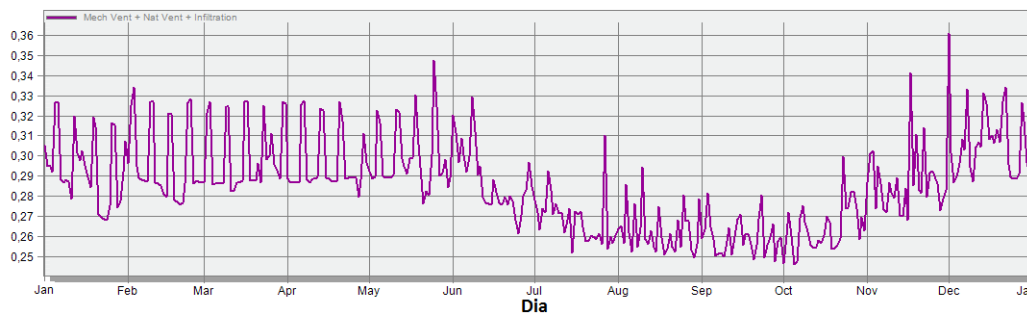


Figura 6.3: Ventilação natural diária [DesignBuilder]

Todavia, a partir da figura 6.4 é possível verificar-se que algumas vezes, durante a noite, a taxa de ventilação aproxima-se dos 0,6 renovações por hora. Esta aproximação deve-se a descida de temperatura durante a noite no arquipélago.

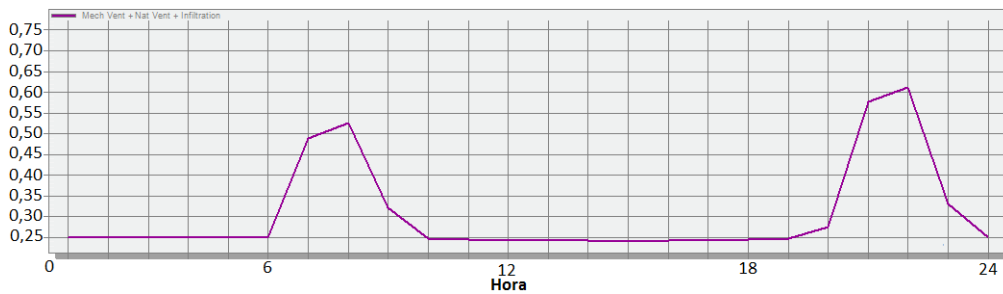


Figura 6.4: Exemplo do comportamento de ventilação durante um dia [*DesignBuilder*]

Da figura 6.3 pode-se observar que entre os meses de julho e novembro há uma redução significativa na taxa de ventilação natural por hora, devido principalmente as altas temperaturas registadas nesses meses. Daí pode-se concluir que uma das principais razões pela qual não é possível garantir a taxa mínima de renovações através da ventilação natural é a alta temperatura verificada no país.

• Redução do consumo energético nível I

Com a implementação das intervenções do nível I (isolamento fachada e cobertura, sombreamento e substituição do envidraçado) obteve-se uma redução de 100% da necessidade energética para climatização, ou seja, não é necessário a utilização de equipamento de climatização. Esta intervenção reduziu em 6% o consumo de energia total no edifício (figura 6.5).

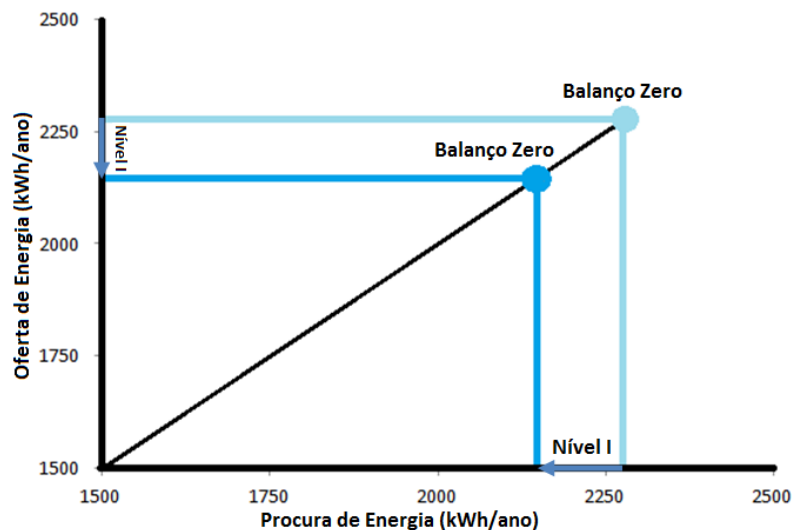


Figura 6.5: Redução de consumo energético nível I (valores respetivo ao edifício com 80 m^2 de área)

Este resultado foi conseguido com a redução do U da fachada e da cobertura de $2,2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ para $0,56 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e de $4,1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ para $0,63 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, bem como com a substituição e sombreamento da área envidraçada. Substituiu-se o vidro simples para vidro duplo (Dbl Clr 6 mm/mm Air). Após várias análises feitas no *DesignBuilder* e com suporte a carta solar, obteve-se que a melhor solução para o sistema de sombreamento é a aplicação de palas verticais combinada com palas horizontais (figura 6.6).

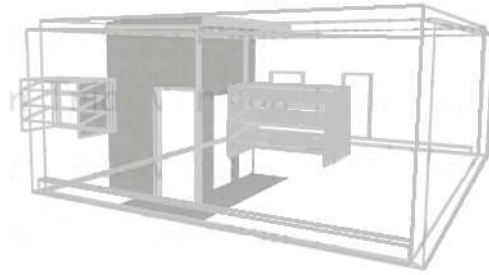


Figura 6.6: Sistema de sombreamento da área envidraçada [DesignBuilder]

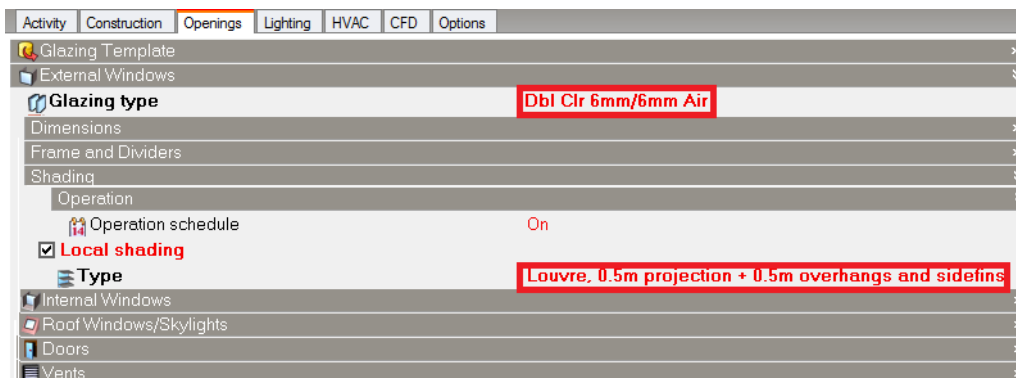


Figura 6.7: Escolha de sombreamento e tipo de vidro [DesignBuilder]

6.1.3 Nível II- Medidas Ativas

Com as alterações dos equipamentos pelos mais eficientes conseguiu-se uma redução de 39% do consumo de energia na habitação.

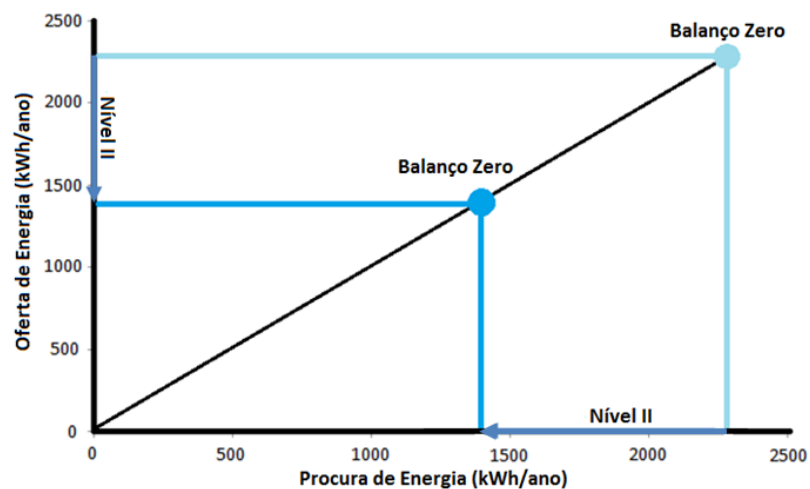


Figura 6.8: Redução de consumo energético nível II (valores respetivo ao edifício com 80 m^2 de área)

Com esse resultado demonstra-se que é de extrema importância a aposta em equipamentos eficientes para redução do consumo energético nas habitações.

6.1.4 Microprodução

• Análise da Produção Energética

Da otimização feito com o *software HOMER*, obteve-se que para o edifício de referência é necessário instalar 2,16 kW de potência PV, o que corresponde à uma área de 15 m^2 (12 painéis) de painel. Após a implementação das medidas de eficiência conseguiu-se reduzir a potência instalada para 1,26 kW (uma redução de 42%) e a área necessária para 9 m^2 (7 painéis, uma redução de 40%). Na tabela 6.1 é apresentada a comparação do sistema de microprodução necessária entre a habitação urbana de referencia e a habitação urbana após aplicação de medidas de eficiência. Os resultados da microprodução para o edifício urbano de referência encontra-se na secção A.2 do anexo.

Tabela 6.1: Síntese da microprodução

	Edifícios	
	Referência	Nível II
Pot. PV (kW)	2,16	1,26
Pot. conversor (kW)	1,6	1,6
Área de painel (m^2)	15	9
Nº de painel	12	7
Nº de bateria	4	3

Com a aplicação das medidas de eficiência, a área e a potência do painel fotovoltaico reduz-se significativamente, uma vez que a habitação necessita de menos energia para suprir a necessidade energética. Pode-se concluir que o sistema de painel fotovoltaico a utilizar varia muito com o aumento do consumo de energia.

A figura 6.9 mostra a produção média mensal da eletricidade resultante do sistema fotovoltaico, durante todo o ano com a aplicação das medidas de eficiência (nível II).

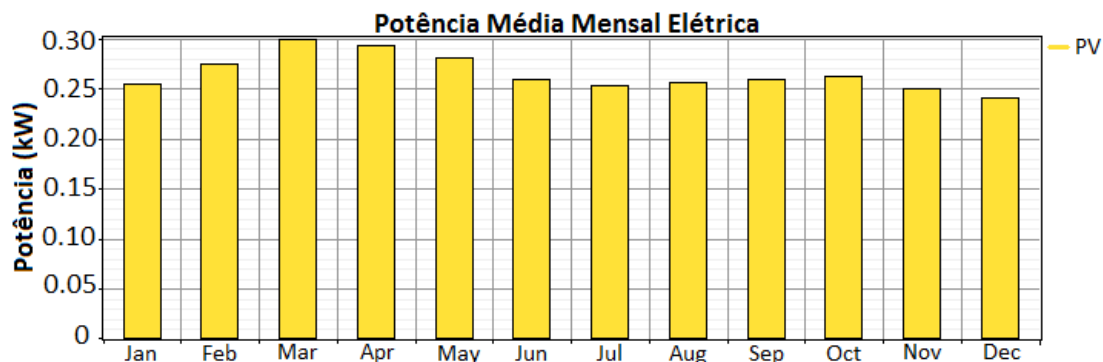


Figura 6.9: Produção média mensal da eletricidade [*HOMER*]

A partir da figura 6.9 verifica-se que o clima do país é bastante favorável para a produção da eletricidade através de energia solar, mantendo uma produção praticamente

constante durante todo o ano. A produção média anual de eletricidade é de aproximadamente 3972 kWh, tendo um excesso de oferta de cerca de 30 %. A partir do mês de julho regista-se uma queda na produção de energia elétrica. Uma das explicações prováveis, é a existência de mais dias nublados (queda de índice de clareza), logo menos incidência solar.

Como pode-se verificar na figura 6.10, o horário da produção da energia fotovoltaico mantém praticamente constante durante todo o ano. Este situa-se entre às 7h :00 e às 18h :00.

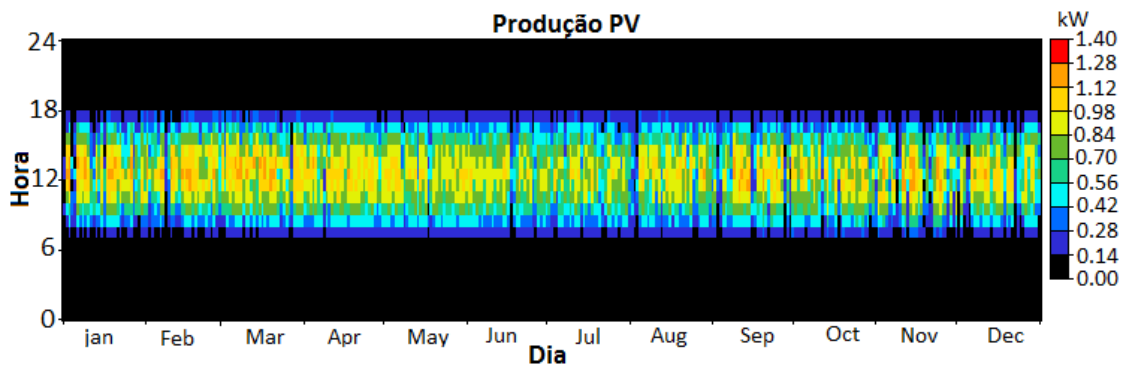


Figura 6.10: Produção PV [HOMER]

A figura 6.11 apresenta o perfil de produção fotovoltaico e incidência solar diária. Como se pode verificar, estes encontram-se intimamente relacionados. Tanto a produção como a incidência solar apresentam um valor mínimo no início de manhã e no final da tarde e um máximo entre às 11 horas e às 13 horas.

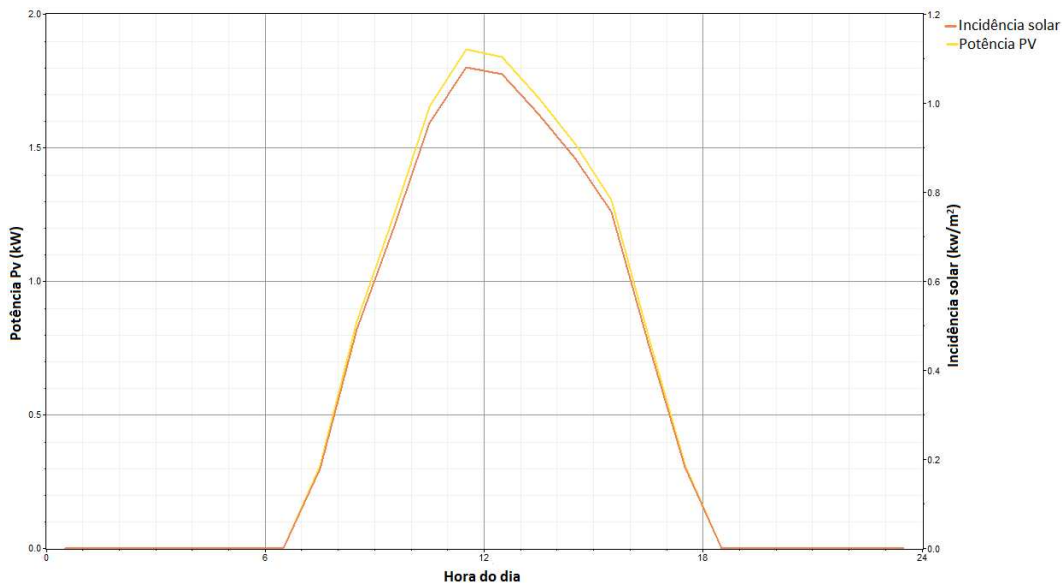


Figura 6.11: Hora produção diária do PV [HOMER]

O banco de baterias dimensionado tem uma autonomia de 85,7horas (cerca de 3,6 dias). De acordo com as condições locais, este será suficiente, uma vez que no país,

dificilmente terá três dias muito nublado. A carga do banco de baterias encontra-se quase sempre entre 80% e 100% e nunca descarrega abaixo dos 40%, maximizando assim o seu tempo de vida (figura 6.12).

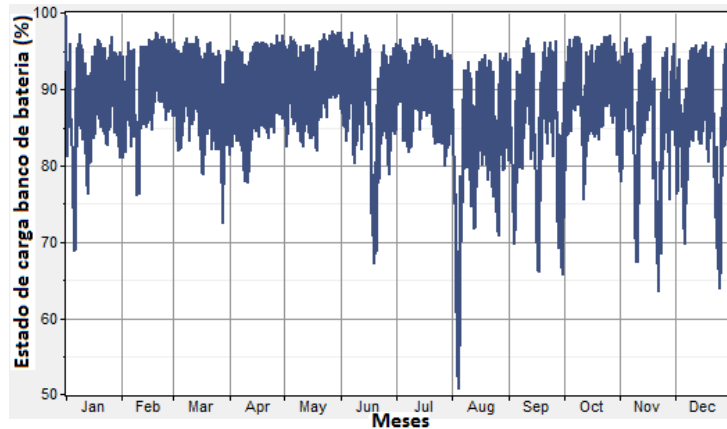


Figura 6.12: Estado de carga das baterias [*HOMER*]

As descargas mais profundas provavelmente ocorrem durante os dias mais nublados, em que a produção durante o dia é baixa e para suprir as necessidades energéticas é necessário recorrer mais vezes ao banco de baterias durante o dia, o que provoca uma descarga mais profunda durante a noite. O banco é utilizado maioritariamente à noite e num pequeno período de manhã (figura 6.13). A carga máxima da bateria regista-se por volta do meio dia.

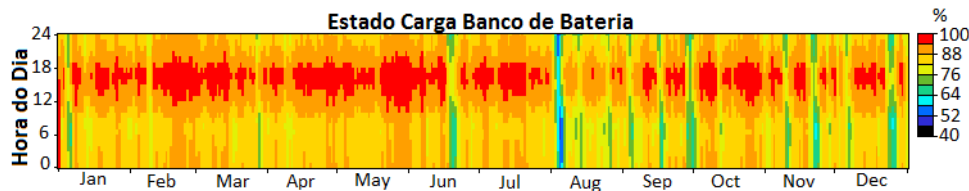


Figura 6.13: Estado de carga das baterias durante um dia [*HOMER*]

Da análise verifica-se que a combinação do sistema PV + banco de baterias, garante o fornecimento ininterrupta de energia ao edifício durante todo o ano.

• Análise de Custo

O sistema de microprodução de eletricidade num edifício urbano com nível II de intervenção tem um valor atual líquido (VAL) de 9738 €. O sistema é 3462 € mais barato que o da habitação de referência (VAL= 13200 €), o que corresponde a uma redução de custo de aproximadamente 26%. Na figura 6.14 encontra-se detalhado o custo do sistema por equipamento para a habitação com nível II de intervenção.

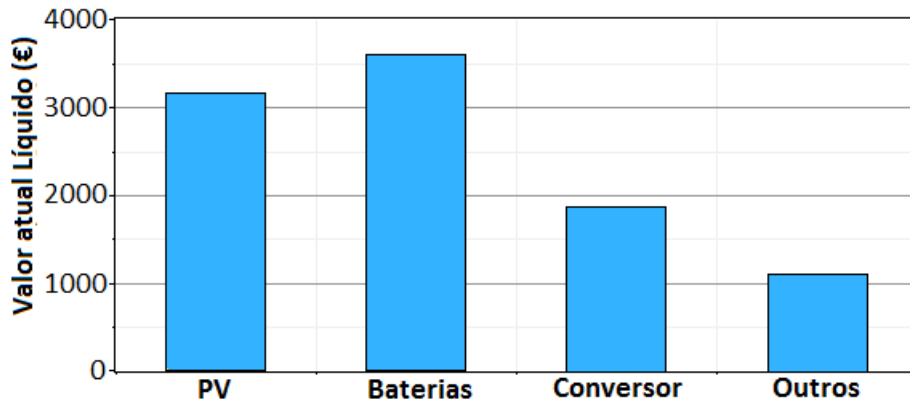


Figura 6.14: VAL por tipos de equipamento [HOMER]

Da figura 6.15 pode verificar-se que os componentes com maior peso no custo total do sistema fotovoltaico isolado são **-a bateria e o painel fotovoltaico-**, respetivamente, 37% e 33%. Pelo que, é de extrema importância a aposta em medidas de eficiência energética, uma vez que este reduz significativamente a área e/ou número de painel e bateria a utilizar, consequentemente o custo total do sistema.

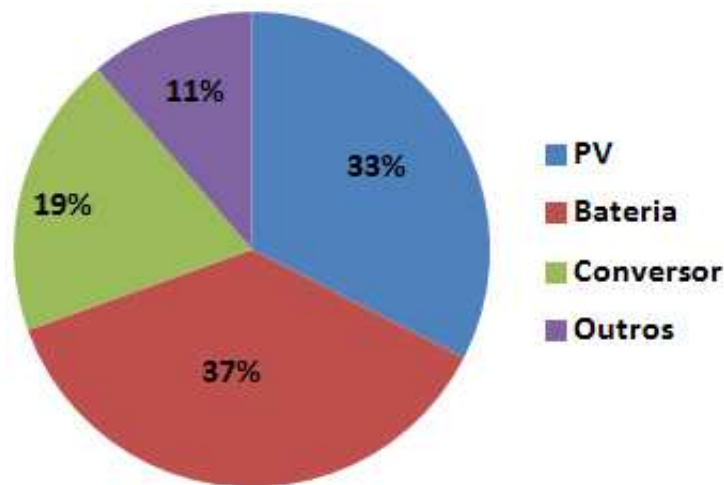


Figura 6.15: Custo investimento total por equipamento [HOMER]

Do estudo da viabilidade económica para a implementação do sistema solar térmico para a produção de AQS no edifício urbano, obteve-se que o investimento neste sistema é bastante viável, tendo um tempo de retorno de 1,4 anos ($3,97 \text{ m}^2$ de coletor) (figura 6.16).

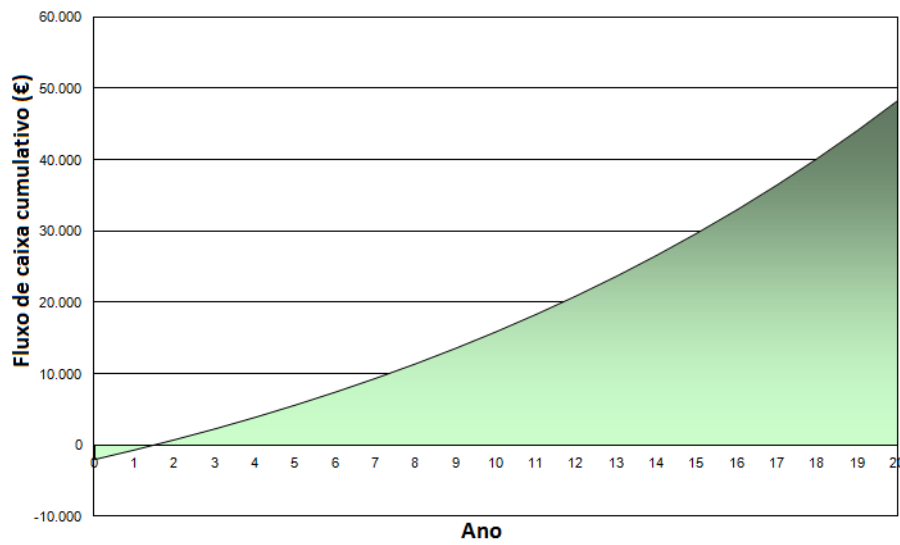


Figura 6.16: Retorno de Investimento produção AQS [RETSscreen]

O retorno de investimento obtido para o sistema solar térmico é relativamente curto, devendo sobretudo à grande potencialidade do recurso solar e a elevada utilização de água quente sanitária. Com o sistema reduz-se aproximadamente 1,6 toneladas equivalentes de CO_2 por ano, o que terá um grande impacto no fim de vida útil do projeto.

6.2 Edifício Rural

6.2.1 Orientação Ótima

Para a determinação da orientação ótima da habitação rural, analisou-se também o impacto da orientação do edifício sobre o consumo de energia na climatização (figura 6.17). Da análise chegou-se a uma orientação ótima de 20 °N (figura 6.18).



Figura 6.17: Impacto orientação sobre consumo de energia por climatização [*DesignBuilder*]

No entanto, da análise da figura 6.17, verifica-se que no edifício rural a diferença do consumo energético entre a melhor (195 kWh/ano) e a pior (223 kWh/ano) orientação é 11% inferior a registada na habitação urbana. Este resultado deve-se sobretudo a menor percentagem de área envidraçada existente na envolvente do edifício rural.

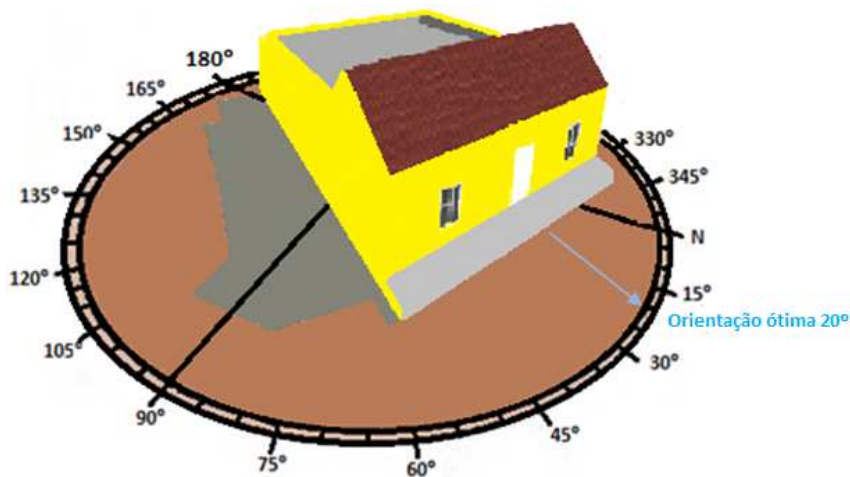


Figura 6.18: Orientação ótima (adaptado de [*DesignBuilder*])

6.2.2 Nível I– Medidas Passivas

• Ventilação Natural

Para a habitação rural, a partir da simulação realizada no *DesignBuilder*, não se consegue garantir a taxa mínima de 0,6 renovações por hora apenas com a ventilação natural. Da figura 6.19 pode-se observar que a taxa máxima de renovação registada é de 0,46 renovações por hora. Este valor é ligeiramente superior da encontrada para a habitação urbana, tal diferença poderá ser devido a organização interior, aberturas ou mesmo pela estrutura do edifício.

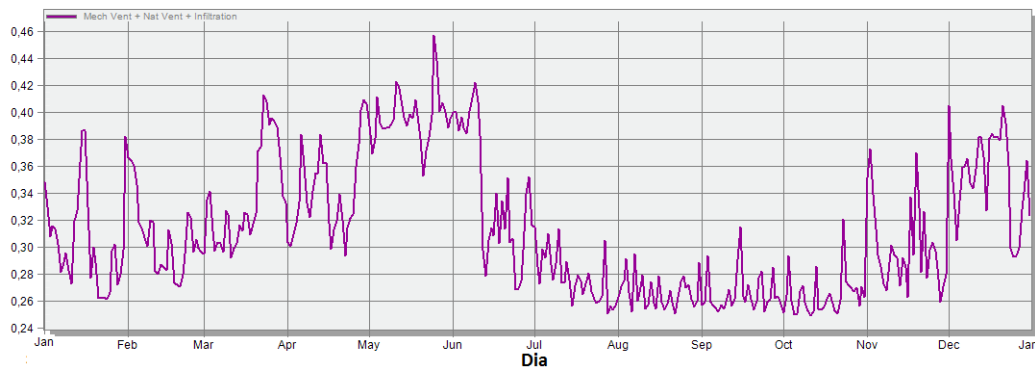


Figura 6.19: Ventilação natural diária [*DesignBuilder*]

Tal como na zona urbana obteve-se uma maior taxa de ventilação natural no período noturno devido a redução da temperatura exterior (figura 6.20).

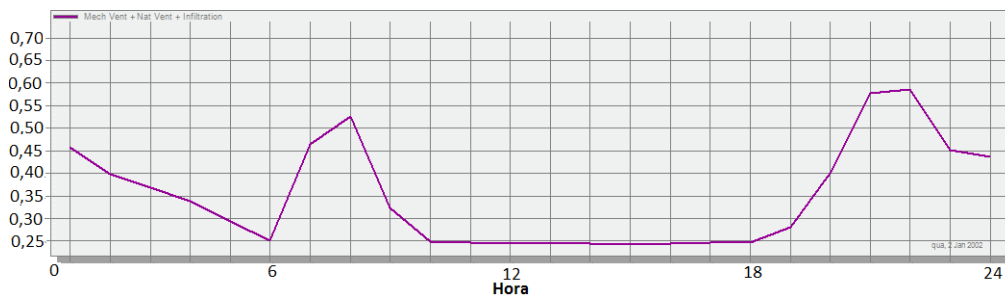


Figura 6.20: Exemplo do comportamento de ventilação durante um dia [*DesignBuilder*]

• Redução do consumo energético nível I

Na habitação com as intervenções do nível I (isolamento de fachada e cobertura, sombreamento e substituição do envidraçado e o sistema de lâ de rocha) reduziu-se em 100% as necessidades energéticas para a climatização. Esta provocou uma redução de 9 % do consumo de energia total da habitação (figura 6.21).

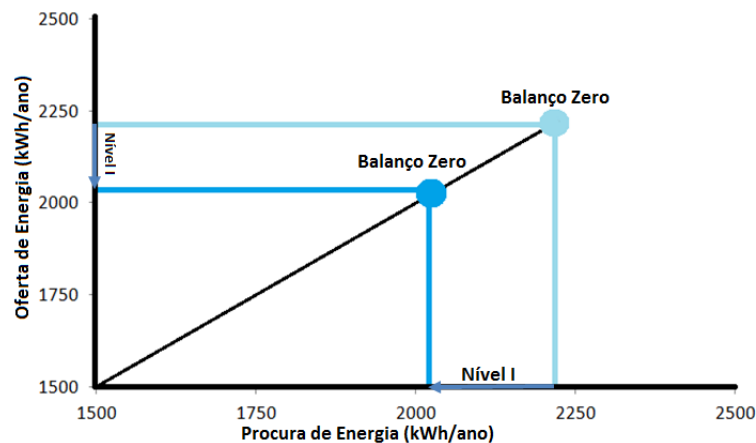


Figura 6.21: Redução de consumo energético nível I (valores respetivo ao edifício com 81 m^2 de área)

Esta redução do consumo foi conseguido com a redução de U da fachada e da cobertura de $2,1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ para $0,56 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e de $4,1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ para $0,63 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, bem como com a substituição e sombreamento da área envidraçada (mesmas soluções que edifício urbano) e a utilização de sistema de lâ de rocha na parte inferior do telhado ($0,76 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$).

6.2.3 Nível II-Medidas Ativas

Com a substituição dos eletrodomésticos pelos mais eficiente obteve-se uma redução de aproximadamente 42 % do consumo de energia no edifício (figura 6.22).

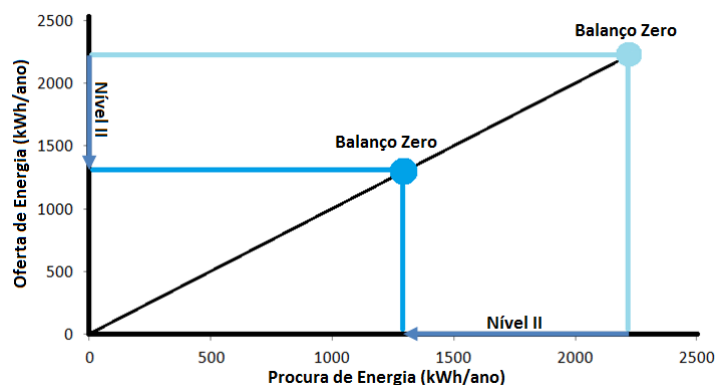


Figura 6.22: Redução de consumo energético nível II (valores respetivo ao edifício com 81 m^2 de área)

6.2.4 Microprodução

Nos edifícios rurais, para a otimização da microprodução considerou-se tanto o recurso solar como eólico. Para a análise considerou-se uma velocidade de vento média de $7,77 \frac{m}{s}$. Todavia, como nem todos os edifícios estão localizados em locais com boas condições eólicas, para uma análise mais realista efetuou-se uma análise de sensibilidade para uma velocidade de vento de $5,4 \frac{m}{s}$. Relativamente à habitação de referência, os resultados encontram-se no anexo (secção A.2.3)

• Análise da Produção Energética

Da otimização do sistema de microprodução obteve-se que para uma velocidade média de vento de $5,4 \frac{m}{s}$ a melhor solução é o sistema fotovoltaico/bateria, tanto para a habitação de referência (consumo médio diário de $6,08 kWh$) como para a com nível II de intervenção (consumo médio diário de $3,54 kWh$). No entanto, considerando uma velocidade média do vento de $7,77 \frac{m}{s}$ e um consumo médio diário de $6,08 kWh$, que é o caso de edifício rural de referência, a melhor solução é a combinação de sistema solar/eólico/bateria. A figura 6.23 mostra a otimização do sistema de produção para estas habitações.

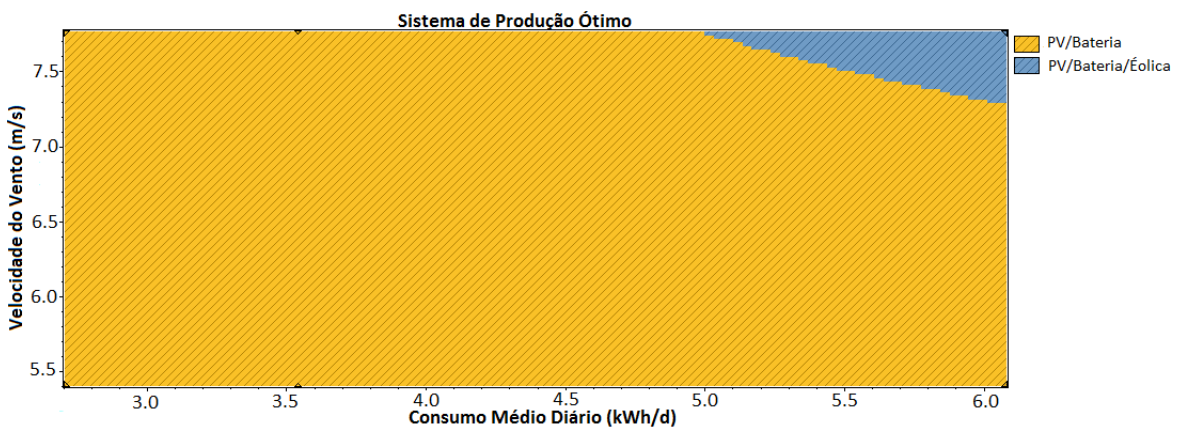


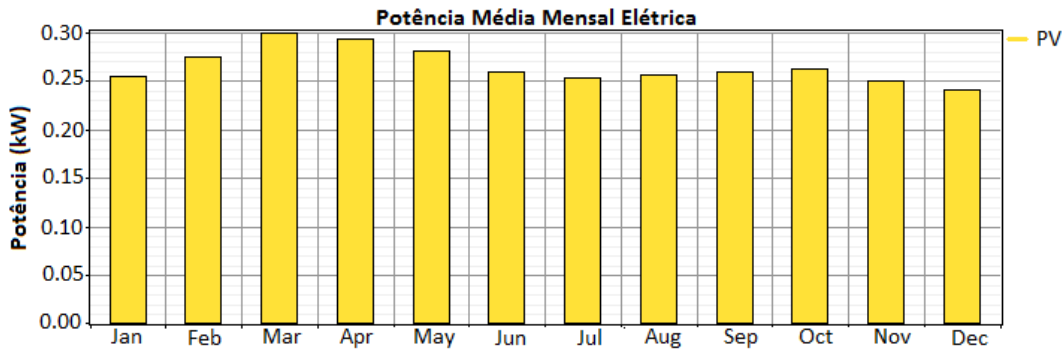
Figura 6.23: Otimização do sistema de produção de energia [HOMER]

Da otimização feita para a velocidade média do vento de $5,4 \frac{m}{s}$, obteve-se que para satisfazer as necessidades energéticas da habitação de referência é necessário $1,98 kW$ de potência PV, o que corresponde à uma área de $14 m^2$ (11 painéis) de painel. Com a implementação das medidas de eficiência conseguiu-se reduzir a potência instalada para $1,26 kW$ (reduziu-se aproximadamente 36%) e a área de painel para $9 m^2$ (7 painéis, reduziu-se aproximadamente 36%). Na figura 6.2 apresenta-se os equipamentos necessários para a produção de energia nos edifícios de referência e nos com medidas de eficiência.

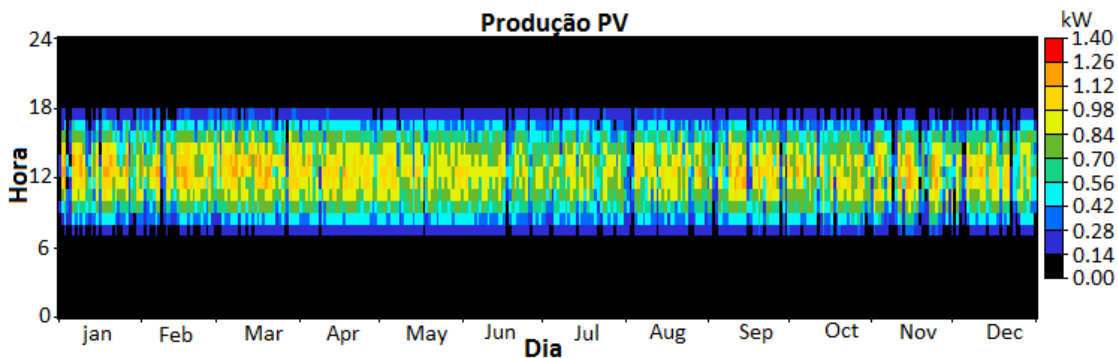
Tabela 6.2: Síntese da microprodução

	Edifícios	
	Referência	Nível II
Pot. PV (kW)	1,98	1,26
Pot. conversor (kW)	1,3	1,3
Área de painel (m^2)	14	9
Nº de painel	11	7
Nº de bateria	4	2

Na figura 6.24 apresenta-se a produção média mensal da eletricidade do sistema de microprodução para o edifício com a aplicação de medidas de eficiência. A média anual de produção de eletricidade através do sistema fotovoltaico é de aproximadamente 2317 kWh com um excesso de 30%.

Figura 6.24: Produção média mensal da eletricidade [*HOMER*]

Da figura 6.25 pode concluir-se que, também para habitação rural, o horário da produção PV encontra-se situada entre às 7h :00 e às 18h :00.

Figura 6.25: Produção PV [*HOMER*]

Com este sistema todas as necessidades energéticas do edifício são cobertas. O banco de baterias dimensionado tem uma autonomia de 61,8h (aproximadamente, 2,6 dias). A carga do banco das baterias também encontram-se praticamente sempre a cima dos 80%, e nunca descarrega abaixo dos 40% (figura 6.26).

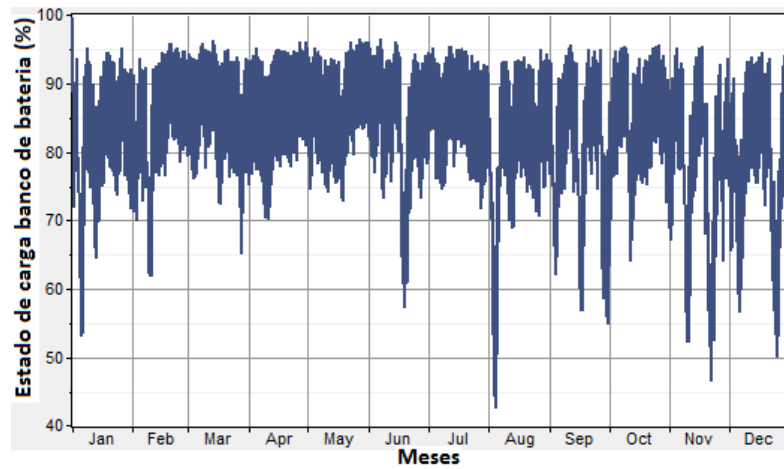


Figura 6.26: Estado de carga das baterias [HOMER]

- **Análise de Custo**

A implementação da microprodução para a produção de eletricidade num edifício rural com aplicação de medidas de eficiência tem um valor atual líquido (VAL) de 8225 €, tornando assim o sistema 3462 € mais barato que o da habitação de referência. A redução de custo verificado é de aproximadamente 34%, o que aponta para uma redução significativa do preço do sistema. Na figura 6.27 apresenta-se o custo do sistema por equipamento.

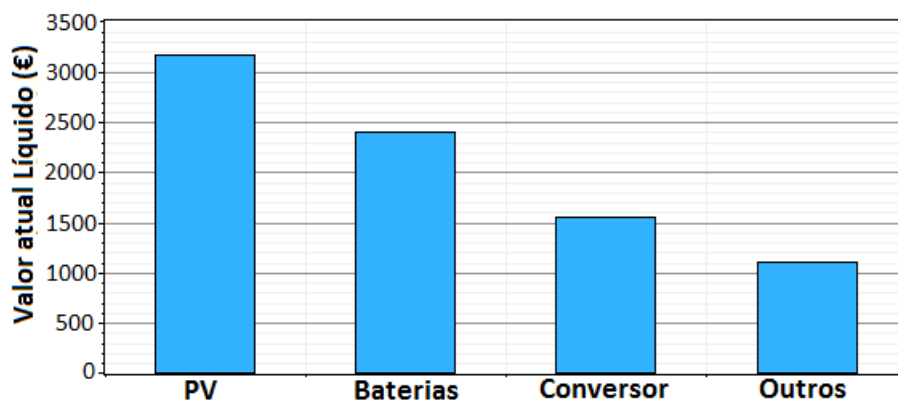


Figura 6.27: VAL por tipos de equipamentos [HOMER]

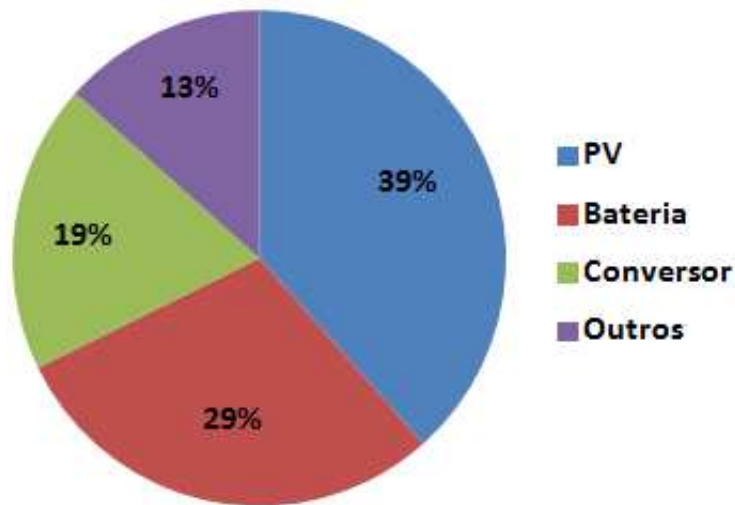


Figura 6.28: Custo investimento total por equipamento [*HOMER*]

Da figura 6.15 também pode-se concluir que os componentes com maior peso no custo total do sistema fotovoltaico isolada, é -a **bateria e o painel fotovoltaico**-, respetivamente, 29% e 39%. Os custos verificados no edifício rural para o sistema de produção é inferior ao da habitação urbana. Este facto é devido ao baixo consumo de energia na habitação rural.

A utilização do sistema solar térmico para a produção de AQS tem retorno de investimento de 1,5 anos (figura 6.29) e permite redução de 1,9 toneladas equivalentes de CO_2 por ano .

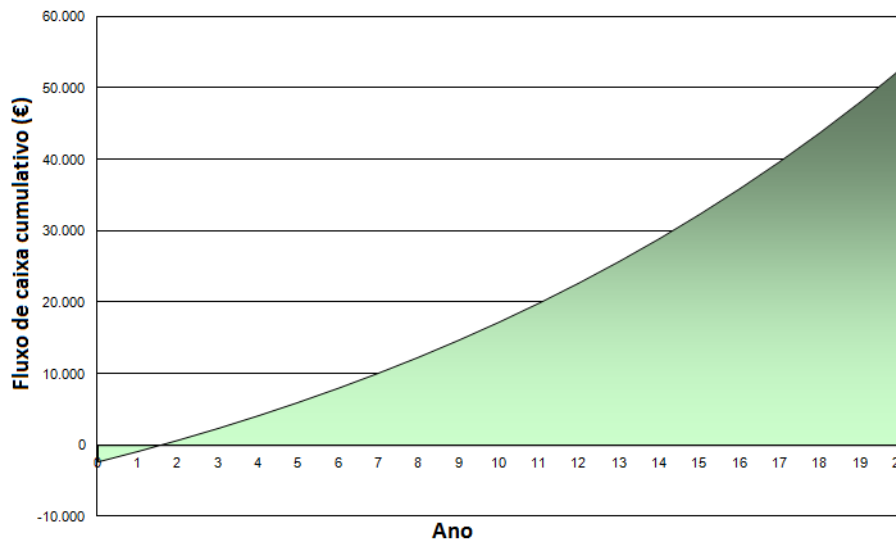


Figura 6.29: Retorno de investimento produção AQS [*RETScreen*]

6.3 Análise da Sensibilidade Paramétrica

Na presente secção é realizado o estudo da influencia da área envidraçada sobre o consumo de energia.

6.3.1 Área Envidraçada

Para o estudo do efeito da área envidraçada sobre o consumo de energia nos edifícios, utilizou-se a habitação rural de referência, onde foi aumentada a área envidraçada. Com o aumento de 25 % da área envidraçada nas envolventes do edifício, foi obtido um acréscimo de aproximadamente 20 % no consumo de energia utilizada para a climatização. Com este resultado torna-se visível a importância da existência de pouca percentagem de áreas envidraçadas nos edifícios em Cabo Verde.

6.4 Análise do Conforto

Uma vez que nesta dissertação a análise utilizada foi abordada de forma a garantir sempre o conforto dos ocupantes, nesta secção analise-se o conforto dos edifícios de referencia urbana e rural sem climatização de forma a obter uma estimativa das horas em que estes se encontram fora dos limites de conforto (18 °C e 28 °C).

O conceito de conforto consiste num estado de espírito que reflete a satisfação do homem com o ambiente térmico que o envolve. Se o balanço de todas as trocas de energia às quais está submetido um corpo for nulo, ou próximo de zero, e a temperatura da pele e evaporação-transpiração estiverem dentro de uma gama controlada, pode dizer-se que esta pessoa encontra-se em conforto térmico [73]. Existem alguns modelos de avaliação do conforto, que podem ser adaptados para as condições locais de cada região.

Como não é objetivo deste estudo uma análise pormenorizada do conforto, fez-se um estudo simplificado, admitindo como parâmetro de avaliação das condições internas das habitações a temperatura operativa. Esta pode ser calculada através das temperaturas médias radiantes das superfícies e do ar ambiente, ponderado pelos respetivos coeficiente de transferência de calor convectivo e radiante. Segundo Rafael Torres, a gama aceitável para o conforto, através da temperatura operativa, é no máximo de 300 horas de desconforto durante o período de ocupação ao longo do ano (ASHRAE 55-2004) [74].

Para o edifício urbano de referência, registou-se que este só verifica horas de desconforto para limite superior de conforto (28 °C), ocorrendo uma total de 134 horas de desconforto durante o ano. Com este resultado pode observar-se que este se encontra dentro do padrão exigido pela norma referida (300 h). Na figura 6.30 ilustra-se o comportamento da temperatura operativa na sala para cada hora do ano, sendo que esta é o local com maior número de horas de ocupação nos edifícios em Cabo Verde e com mais equipamentos.

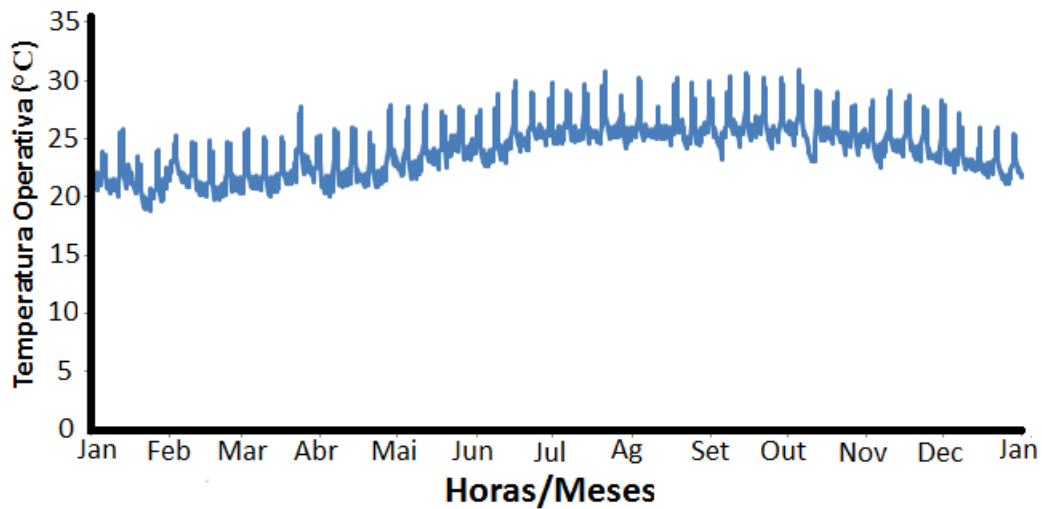


Figura 6.30: Temperatura operativa anual da sala do edifício urbano [*DesignBuilder*]

Relativamente à habitação rural, também só consta o limite superior de desconforto, com uma ocorrência de 143 horas durante o ano, o que se encontra dentro do limite aceitável. Na figura 6.31 pode observar-se a variação da temperatura operativa na sala para cada hora do ano.

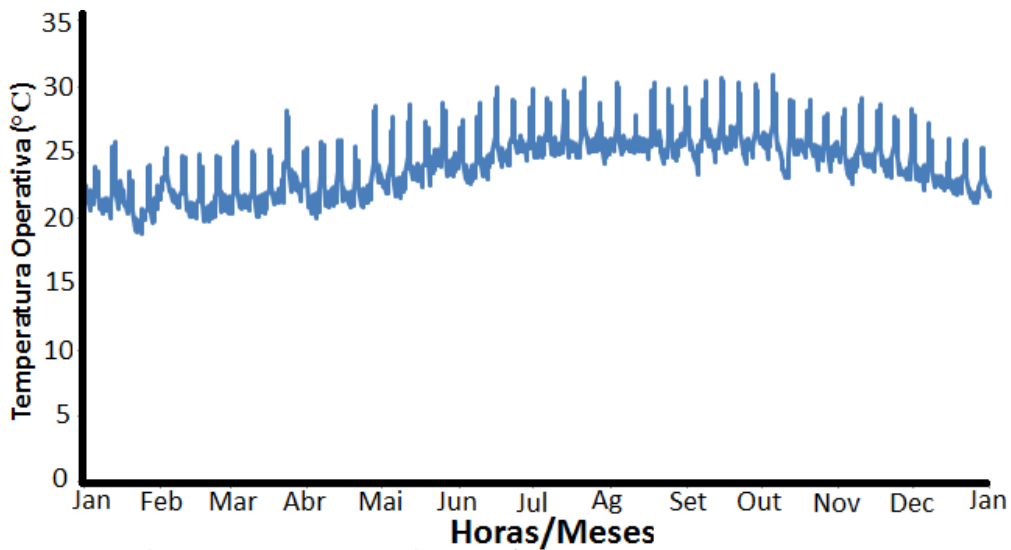


Figura 6.31: Temperatura operativa anual da sala do edifício rural [*DesignBuilder*]

Estes resultados demonstram a grande importância das construções tradicionais. Sendo que estes edifícios foram feitos pensando nas condições do país, tendo uma boa adaptação ao contexto climático e transmitindo um bom nível de conforto.

6.5 Síntese do Capítulo

Neste capítulo foram discutidos os resultados do estudo efetuado. Do caso estudo utilizado, conclui-se que com a aplicação das medidas de eficiência reduz-se a energia gasta no edifício urbano e rural em aproximadamente 39% e 42%, respetivamente. Com estas reduções, o custo com o sistema de microprodução para a habitação urbana e rural reduziram em 26 % e 34%, respetivamente.

A utilização do sistema solar térmico mostrou-se viável quando aplicado nas condições do arquipélago. Este reduz as emissões poluentes em 1,6 toneladas equivalentes de CO_2 por ano para o edifício urbana e 1,9 toneladas equivalentes de CO_2 por ano para o edifício rural.

Também conclui-se que as habitações tradicionais tem um bom nível de conforto, adaptando-se muito bem ao clima do país.

Capítulo 7

Conclusão

Em termos conclusivos, as habitações tradicionais demonstram ter uma boa adaptação ao contexto climático do país e devem servir de exemplo para a adoção de arquiteturas futuras. Estas têm evidenciado um bom comportamento térmico devido à existência de poucas áreas envidraçadas (poucos ganhos solares) e uma boa inércia térmica. Da análise do caso de estudo obteve-se que as horas de desconforto, tanto para a habitação urbana (134 horas) como para a habitação rural (143 horas) estão dentro dos limites aceitáveis (300 horas).

Uma inércia térmica forte, para países quentes como Cabo Verde, é de extrema importância, uma vez que ajuda a atenuar ganhos excessivos de calor pela envolvente.

A utilização de grandes áreas envidraçadas nas envolventes devem ser evitadas, sendo que estas aumentam os ganhos solares, o que tem implicação tanto a nível do conforto como a nível de consumo energético nos edifícios .

A promoção de ventilação natural em Cabo Verde apresenta uma taxa de renovação baixa, tendo como um dos principais constrangimentos as altas temperaturas registadas durante o dia. Devem ser exploradas as estratégias de ventilação noturna, uma vez que é a altura do dia em que se verifica uma queda de temperatura.

A existência de edifícios próximos pode diminuir também os ganhos solares, e aumentar o nível de conforto nos mesmos.

A utilização de equipamentos eficientes, combinados com medidas passivas, podem trazer grandes ganhos a nível de redução do consumo energético nas habitações. Com o estudo realizado verificou-se uma redução de consumo de energia em aproximadamente 39% para edifício urbano e 42% para rural. Reduzindo assim os custos com o sistema de produção de energia renovável em aproximadamente 26% e 34%, respetivamente. Com estas melhorias é esperado um consumo de 17,5 $kWh/m^2.ano$ para edifício urbano e 16 $kWh/m^2.ano$ para edifício rural.

A nível da oferta de energia, verificou-se no decorrer deste trabalho que Cabo Verde tem grandes potencialidades de aproveitamento de energias renováveis, que para além de serem energias limpas, poderão dar um grande contributo para a resolução do problema energético do país. Notou-se que, nesta primeira fase, é importante a exploração de energia eólica e solar, sendo que estas implicam tecnologias mais baratas e exigem pouca manutenção, o que poderá apresentar uma facilidade de implementação, tendo em conta as condições técnico-económicas atuais do país.

Nos dois casos estudados, edifício urbano e rural, para o edifício urbano de referência é necessário instalar 2,16 kW de potência fotovoltaico, 1,6 kW de potência de conver-

sor e quatro baterias. Com a aplicação de medidas de eficiência, reduziu-se a potência fotovoltaica para 1,26 kW e o número de baterias a utilizar para três. É estimado uma produção anual de eletricidade de 3972 kWh, sendo o custo de eletricidade produzida igual a 0,68 €/kwh. O custo atual da eletricidade no país é de 0,35 €/kwh. Como o custo de eletricidade produzida a partir dos combustíveis fósseis tem oscilado muito e numa altura onde as tecnologias renováveis têm demonstrado uma redução dos custos, poderá ser muito mais interessante apostar neste tipo de tecnologia, uma vez que o custo de energia produzida por este tende a reduzir a curto e a médio prazo. Relativamente ao edifício rural de referência, é preciso uma instalação com 1,98 kW de potência fotovoltaica, 1,3 kW de potência de conversor e quatro baterias. Com as medidas de eficiência, reduziu-se a potência fotovoltaica para 1,26 kW e o número de baterias a utilizar reduziu para dois. É estimado uma produção anual de eletricidade de 2317 kWh, sendo o custo de eletricidade produzida igual a 0,675 €/kwh.

Para a habitação urbana de referência, o sistema de microprodução tem um custo de 13200 €, com a aplicação das medidas de eficiência o sistema passa a custar 9738 €. Para a habitação rural o custo passa de 12436 € para 8225 €. Quanto ao custo por m² de construção em Cabo Verde, para o edifício de referência, poderá rondar os 100 € e para um ZEB os 150 €.

A utilização de energia solar (PV) para a produção da energia elétrica demonstrou ser bastante interessante, suprimindo todas as necessidades energéticas dos edifícios estudados. A potência e/ou área de painel e número de baterias a utilizar reduzem significativamente com as medidas de eficiência energética, o que poderá tornar mais atrativo investir no sistema.

Para edifícios com consumos mais elevados, sobretudo em regiões com boa velocidade do vento, é importante a otimização da produção utilizando sistemas solares e eólicos.

O sistema solar térmico para a produção de AQS parece ser bastante atrativo, especialmente devido à grande potencialidade solar e a quantidade de água quente utilizada.

Para aplicação destas medidas torna-se importante que o país trace algumas linhas políticas neste sentido. Cabo Verde não dispõe de grandes mecanismos financeiros, mas o país pode tirar proveito dos apoios financeiros do exterior, e sobretudo do Banco Mundial para promover políticas de eficiência energética e de incentivo a microprodução [25]. Neste momento poderá ser interessante traçar as seguintes medidas: aposta forte na formação de quadros técnicos, promoção de informação sobre construção sustentável e eficiência energética; criação de mecanismos de benefício fiscal e/ou incentivos para a compra de sistemas ativos de energias como PV, solar térmico e eólica (como por exemplo isenções alfandegárias, política atualmente aplicada pelo governo). Também é importante a mobilização de vários agentes para a promoção e divulgação das novas tecnologias de construção e o desenvolvimento da capacidade técnica capaz de lidar com as várias tecnologias de produção de energia renovável.

A aposta em medidas de eficiência energética acompanhadas das devidas políticas de incentivo à utilização de energias renováveis, serão um dos caminhos a seguir para a implementação do ZEB e que também poderão auxiliar no combate ao défice energético do país.

7.1 Limitações e trabalhos futuros

A principal limitação deste trabalho foi a indisponibilidade de alguns dados relativamente a Cabo Verde, criando assim barreiras para a realização do estudo. Este problema foi resolvido com base em aproximações através de dados existentes.

Na sequência do trabalho realizado, relativamente às possíveis linhas de investigação que poderão ser interessantes, destacam-se:

- Modelação da procura de energia dos vários sectores;
- Levantamento pormenorizado dos dados climáticos de todas as ilhas de Cabo Verde;
- Análise de mecanismo de incentivo para a promoção de microprodução com energias renováveis em Cabo Verde;
- Estudo da otimização da ventilação natural.

Bibliografia

- [1] Marszal, Anna Joanna–*Life Cycle Cost Optimization of a BOLIG+ Zero Energy Building*. Aalborg: Aalborg University, 2009.
- [2] Torcellini, P.; Pless, .S; Deru, .M; Crawley, .D –Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition.*Innovation for Our Energy Future*[Em linha]. (2006), p.1–11. [Consult.Fevereiro, 2012].Disponível na internet:<[http : //www.nrel.gov/sustainable_nrel/pdfs/39833.pdf](http://www.nrel.gov/sustainable_nrel/pdfs/39833.pdf)>.
- [3] Da Costa, Gonçalo Carlos Rosário–*A CONTRIBUIÇÃO DOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS E FOTOVOLTAICOS PARA O BALANÇO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES*.Lisboa: Universidade nova De Lisboa, 2012.
- [4] Ribeiro, Joana André Matias –*Propostas de mitigação para as emissões poluentes das aeronaves: Aplicação ao Aeroporto de Lisboa*.Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, 2010.
- [5] Kilkis, S.–A new metric for net- zero carbon buildings.*Energy Sustainability*. (2007) p.219-224.
- [6] Sartori, Igor; Napolitano, Assunta; Voss, Karsten –Net zero energy buildings: A consistent definition framework.*Energy and Buildings*[Em linha]. (2012), p.2–10. [Consult.Fevereiro, 2012]. Disponível na internet:<[http : //www.enob.info/fileadmin/media/Publikationen/EnOB/NetZEB_A – Consistent – Definition_2012.pdf](http://www.enob.info/fileadmin/media/Publikationen/EnOB/NetZEB_A_Consistent_Definition_2012.pdf)>.
- [7] Aelenei, Laura. *Design issues For Net Zero Energy Buildings*. 2012, p.14.
- [8] Gonçalves, Helder . *Net Zero Energy Buildings (NZEB)*. 2012, p.13.
- [9] Eike Musall, Eike –*Net Zero Energy Buildings – Definition and building concepts*. Bergische: Bergische Universität Wuppertal.
- [10] O PARLAMENTO EUROPEU E O CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA – *DIRECTIVA 2010/31/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação)*. 2010.
- [11] ATANASIU, Bogdan;–Challenges For nearly Zero–Energy Buildings.*Building Performace Europe*[Em linha]. 2012, p.8. [Consult.Fevereiro, 2012]. Disponível na internet:<[http : //www.wsed.at/fileadmin/redakteure/WSED/2012/download_presentations.pdf](http://www.wsed.at/fileadmin/redakteure/WSED/2012/download_presentations.pdf)>.

- [12] Dos Santos, Carlos Pina. *Reabilitação de edifícios para promoção do conforto e da eficiência energética*. 2012.
- [13] Maldonado, Eduardo. *EU Roadmap towards NZEBs*. 2012.
- [14] DeGuire, Andrew. *Net Zero Energy: Technologies and approaches to transform the built environment*. 2011.
- [15] Da Graça, Guilherme Carrilho; Augusto, André; Lerer, Maria M.–Solar powered net zero energy houses for southern Europe:Feasibility study.*Solar Energy*[Em linha]. 2011, 634–646. [Consult.Fevereiro, 2012].Disponível na internet:<[http : //www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X1100418X](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X1100418X)>.
- [16] Marszal, Anna Joanna; Heiselberg, Per –Life cycle cost analysis of a multi-storey residential Net Zero Energy Building in Denmark. *Energy*[Em linha]. 2011, p.5600–5609. [Consult.Fevereiro, 2012].Disponível na internet:<[http : //www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544211004580](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544211004580)>.
- [17] Deng, S.; Dalibard, A.; Martin, M.; Dai, Y.J.; Eicker, U.; Wanga, R.Z.–Energy supply concepts for zero energy residential buildings in humid and dry climate. *Energy Conversion and Management*[Em linha]. 2011, p.2455–2460. [Consult.Fevereiro, 2012]. Disponível na internet:<[http : //www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890411000586](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890411000586)>.
- [18] R. Elkinton,Melissa; G. McGowan, Jon; F. Manwell, James –Wind power systems for zero net energy housing in the United States. *Renewable Energy*[Em linha]. 2007, p.1270?1278. [Consult.Fevereiro, 2012].Disponível na internet:<[http : //www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148108003492](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148108003492)>.
- [19] Bagci, Baris–Towards a Zero Energy Island. *Renewable Energy*[Em linha]. 2007, p.784?789. [Consult.Fevereiro, 2012].Disponível na internet:<[http : //www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148108001675](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148108001675)>.
- [20] Grove-Smith, Jessica. *Passive Houses in the Mediterranean Climate*. p.2–24.
- [21] Gonçalves, Helder . *Em direcção à energia zero towards zero energy*. p.13–43.
- [22] U.S. Department of Energy.*Energy Efficiency and Renewable Energy*[Em linha]. [Consult.Fevereiro, 2012]. Disponível na internet:<[http : //zeb.buildinggreen.com/overview.cfm?projectid = 284](http://zeb.buildinggreen.com/overview.cfm?projectid=284)>.
- [23] Da Fonseca, Daniel António da Silva –*A casa de emissões nulas: Estudo conceptual*. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2007.
- [24] U.S. Department of Energy.*Energy Efficiency and Renewable Energy*[Em linha]. [Consult.Fevereiro, 2012]. Disponível na internet:<[http : //zeb.buildinggreen.com/overview.cfm?projectid = 18](http://zeb.buildinggreen.com/overview.cfm?projectid=18)>.
- [25] COSTA, ANILDO LOPES –*Desenvolvimento e Aplicação de um Sistema de Apoio à Decisão para a Integração de Energias Renováveis num Sistema Energético*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, 2009.

- [26] 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.
- [27] INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA –*Apresentação de dados preliminares do IVº RGPB 2010*. Praia, 2010.
- [28] MONTEIRO, ALICE; DELGADO, FERNANDA –*Perfil Demográfico, Sócio - Económico e Sanitário de Cabo Verde*. Praia, 2003.
- [29] Cardoso, Edmilson Mendes–*Simulação de sistemas energéticos isolados- Ilha de Santiago*. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2011.
- [30] ADB,AFRICAN DEVELOPMENT BANK–*Republic of Cape Verde - Country Strategy Paper 2009-2012* [Em linha].[Consult. Janeiro, 2012]. Disponível na internet:<[http : //www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Project and Operations/cap%20vert.pdf](http://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Project_and_Operations/cap%20vert.pdf)>.
- [31] Inocência, Débora Alexandra Soares –*Construção e Arquitectura Sustentáveis em Cabo Verde*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, 2012.
- [32] Gomes, Samuel F.–*Impactes de apanha e extracção de inertes em Cabo Verde, Segundo Plano de Acção Nacional para o Ambiente (PANA II)*. 2004.
- [33] Semedo, José M.–*Tecnologias de construção em Cabo Verde - Uso de recursos naturais e impactes ambientais*. Praia, 2009.
- [34] Guedes, Manuel Correia–*ARQUITECTURA SUSTENTÁVEL EM CABO VERDE (MANUAL DE BOAS PRÁTICAS)*. CPLP Comunidade dos Países de Língua Portuguesa. ISBN 978-989-97178-2-4.
- [35] ELECTRA–*Relatório de Conta 2010*. Mindelo: ELECTRA SARL, 2010.
- [36] MECC–*Política Energética de Cabo Verde*. Praia, 2008.
- [37] Martins, João Gaspar Moura–*Sistemas de Aproveitamento de Energia Solar Térmica SOLution*. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [38] Monteiro, Ana David–*O Impacto das Energias Renováveis na Economia dos Países Emergentes: O Caso de Cabo Verde*. Lisboa: ISCTE-IUL, 2012.
- [39] Lopes, Alexandre Morais–*Produção Eólica e Enquadramento Técnico-Económico em Portugal*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [40] Higuera, Ester–*Urbanismo Bioclimático*.Barcelona, 2006.
- [41] Cantuaria, G. A. C.–*Vegetation and Environmental Comfort PhD thesis, Architectural Association School of Architecture*. London, 2001.
- [42] Isolani, Pieraldo–*Eficiência energética nos edifícios residenciais* . Lisboa, 2008.

- [43] Gonzáles, F. J. N.–*Arquitectura Bioclimática, en un Entorno Sostenible*. Madrid, 2004.
- [44] Koch-Nielson, Holguer–*A design guide for the build environment in Hot Climats*. London, 2002.
- [45] Zeferina, Vasco dos Santos–*Optimização de sistemas de ventilação natural em edifícios*. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2010.
- [46] Hyde, Richard–*Bioclimatic Housing: Innovative Designs for Warm Climates*. Trowbridge, 2008.
- [47] Velosa, José Joaquim Matos–*Análise do sistema H₂–energia renovável para edifícios em Portugal*. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2011.
- [48] Proença, Emanuel Dâmaso Rodrigues Brinquete –*A ENERGIA SOLAR FOTO-VOLTAICA EM PORTUGAL, Estado-da-Arte e Perspectivas de Desenvolvimento*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, 2007.
- [49] Quinquim–*Ilha do Santiago-Cabo Verde* [Em linha].[Consult.Fev.2012].Disponível em WWW:<<http://topicos123.com/ILHA-DE-SANTIAGO.HTML>>.
- [50] NØRGÅRD, PER; FONSECA, JOÃO–*Ultra high wind penetration in simple wind-diesel power systems in Cape Verde*. 2009.
- [51] LUNDSAGER, PER; HANSEN, JENS CARSTEN–*High Penetration of Wind Energy into Island Diesel Grids Experience from Cape Verde: Wind Diesel Workshop*. Anchorage, Alaska, 2002.
- [52] Carotenuto, Adriano Roberto da Silva –*Análise do desempenho termoenergético de um prédio histórico de elevada inércia térmica*. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.
- [53] Ferreira, Ricardo Miguel Costa –*Simulação Computacional de Turbina Contra Rotativa de Eixo Horizontal*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, 2009.
- [54] Instituto Português da Qualidade–*PREVENÇÃO E CONTROLO DE LEGIONELLA NOS SISTEMAS DE ÁGUA*. Lisboa, 2010. ISBN 978-972-763-124-7.
- [55] Eusébio, Cristina Camus Eduardo –*GESTÃO DE ENERGIA, ENERGIA SOLAR*. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2006.
- [56] Castro, Rui M.G. –*Energias Renováveis e Produção Descentralizada, INTRODUÇÃO À ENERGIA EÓLICA*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, 2003.
- [57] Amaral, Manuel António Pinto da Silva–*SISTEMAS DE VENTILAÇÃO NATURAL E MISTOS EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
- [58] Costa, Hélder António Ferreira Pereira–*Modelação Matemática de Sistemas Solares Térmicos*. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro Vila Real, 2009.

- [59] enerwise, soluções de energia–*Energia Eólica* [Em linha]. [Consult. Jun. 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.enerwise.pt/index.php?id=16>>.
- [60] Cruz, Ricardo; Ventura, Rui–*INTEGRAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA NA REDE, PROJECTO DE PRODUÇÃO E PLANEAMENTO DE ELECTRICIDADE*. Coimbra: Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciência e Tecnologia, 2010.
- [61] Ribeiro, Carlos Manuel Ferreira –*Circuito de Interface para Ligação de um Gerador Eólico à Rede*. Guimarães: Universidade do Minho, 2008.
- [62] Dias, Pedro Miguel Duarte –*Indicadores do potencial de aproveitamento de recursos energéticos endógenos em edifícios residenciais*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [63] Governo de Cabo Verde–*ESTRATÉGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DA PROTECÇÃO SOCIAL DE CABO VERDE*. Praia.
- [64] Barros, Ema H. S. –*Plano de Ocupação de Terreno em Cabo Verde para Empreendimento Turístico*. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural de Rio de Janeiro, 2011.
- [65] Carvalho, Márcio –*Análise de situação da Criança e Adolescente em Cabo Verde*. Praia, 2011.
- [66] Urban, F.; Benders, R.M.J.; Moll, H.C.–Modelling energy systems for developing countries.*Energy Policy*[Em linha]. 2007, 3473-?3482. [Consult.Fevereiro, 2012]. Disponível na internet:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421507000043>>.
- [67] Santana, Marina Vasconcelos –*Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis-SC*. Florianópolis: Universidade Federal de SANTA CATARINA, 2006.
- [68] Crawley, Drury Browne –*BUILDING PERFORMANCE SIMULATION: A TOOL FOR POLICYMAKING*. Glasgow: University of Strathclyde, 2008.
- [69] Karaghoulí, Ali Al; Kazmerski, L.L. –Optimization and life-cycle cost of health clinic PV system for a rural area in southern Iraq using HOMER software.*Solar Energy*[Em linha]. 2010, 710–714. [Consult.Fevereiro, 2012]. Disponível na internet:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X1000037X>>.
- [70] Connolly, D.; Lund, H.; Mathiesen, B.V.; Leahy, M. –A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems.*Applied Energy*[Em linha]. 2010, 1059–1082. [Consult.Fevereiro, 2012]. Disponível na internet:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261909004188>>.
- [71] E Sá, Maria João Vidal –*Avaliação de um edifício escolar segundo o sistema LiderA*. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2010.
- [72] Carvalhal, Catarina Mourão –*Simulação do comportamento térmico de edifícios com fachadas ventiladas*. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2008.

- [73] American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers – *ASHRAE, Fundamentals Handbook*. EUA, 2009.
- [74] Torres, Rafael Gerzson– *PROJETO DE UM PRÉDIO DE ENERGIA LÍQUIDA ZERO (PELZ) COM FOCO NOS SISTEMAS*. Porto Alegre: Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 2011.
- [75] CONSELHO DE MINISTROS –*Boletim Oficial, Decreto-Lei n.º 1/2011*. REPÚBLICA DE CABO VERDE, 2011.
- [76] Dos Santos, João Paulo Teixeira Begonha –*Estudo de sistemas solares térmicos para aplicação a micro-cogeração*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
- [77] REVESPÓVOA –*Capoto*[Em linha]. [Consult. Fevereiro, 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://revespovoa.webnode.pt/isolamento-termico/capoto/>>.
- [78] GRAZIMAC –*Lajetas térmicas*[Em linha]. [Consult. Fevereiro, 2012]. Disponível em WWW:<URL:http://www.grazimac.pt/antig/frames/conteudo/caract_tec.html>.
- [79] SANTOS, RUY SPENCER LOPES DOS –*Energia Elétrica em Cabo Verde*[Em linha]. Mindelo. [Consult. Fevereiro, 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.electra.cv/EnergiaCV.htm>>.
- [80] Empresa de Electricidade e Água, SARL [Em linha]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.electra.cv/>>.
- [81] Agência de Regulação Económica (ARE) [Em linha]. Disponível em WWW:<<http://www.are.cv/>>.

Apêndice A

Anexos

A.1 Consumo Energético dos Equipamentos

Tabela A.1: Consumo energético dos equipamentos habitação urbana

Equipamentos	Quantidade	Potência (W)	Utilização diária (h)	Consumo anual (kWh/ano)
Iluminação	4	60	4	350,4
	4	40	4	233,6
Frigorífico	1	130	10	474,5
Arca frigorífica	1	200	5	365
Micro-ondas	1	1200	0,167	73,15
Computador	1	120	5	219
DVD	1	35	0,4	5,11
Televisão	1	80	5	146
Aparelhagem	1	40	3	43,8
Ferro de Engomar	1	1000	0,2	73
Máquina lavar roupa	1	500	0,6	109,5
Climatização				129,66 ¹
Outros				55
Total				2277,72

¹Através da simulação no *DesignBuilder* para a orientação ótima

Tabela A.2: Consumo energético dos equipamentos habitação rural

Equipamentos	Quantidade	Potência (W)	Utilização diária (h)	Consumo anual (kWh/ano)
Iluminação	4	60	4	350,4
	4	40	4	233,6
Frigorífico	1	130	10	474,5
Arca frigorífica	1	200	5	365
Micro-ondas	1	1200	0,12	52,56
Computador	1	120	5	219
DVD	1	35	0,33	4,26
Televisão	1	60	5	109,5
Aparelhagem	1	40	2	29,2
Ferro de Engomar	1	1000	0,12	43,8
Máquina lavar roupa	1	500	0,6	109,5
Climatização				195,41 ²
Outros				33,09
Total				2219,82

Tabela A.3: Consumo energético com equipamentos nível II urbana

Equipamentos	Quantidade	Potência (W)	Utilização diária (h)	Consumo anual (kWh/ano)
Iluminação	4	11	4	64,24
	4	8	4	46,72
Frigorífico	1	130	7	332,15
Arca frigorífica	1	200	4	292
Micro-ondas	1	1200	0,167	73,15
Computador	1	120	5	219
DVD	1	35	0,4	5,11
Televisão	1	40	5	73
Aparelhagem	1	40	3	43,8
Ferro de Engomar	1	1000	0,2	73
Máquina lavar roupa	1	500	0,6	109,5
Outros				55
Total				1398,35

²Através da simulação no *DesignBuilder* para a orientação ótima

Tabela A.4: Consumo energético nível II rural

Equipamentos	Quantidade	Potência (W)	Utilização diária (h)	Consumo anual (kWh/ano)
Iluminação	4	11	4	64,24
	4	8	4	46,72
Frigorífico	1	130	7	332,15
Arca frigorífica	1	200	4	292
Micro-ondas	1	1200	0,167	73,15
Computador	1	120	5	219
DVD	1	35	0,4	5,11
Televisão	1	40	5	54,75
Aparelhagem	1	40	3	43,8
Ferro de Engomar	1	1000	0,2	73
Máquina lavar roupa	1	500	0,6	109,5
Outros				55
Total				1292,95

Figura A.1: Temperatura água da rede distribuição em Cabo Verde [*DesignBuilder*]

A.2 Simulação *HOMER*

A.2.1 Custo do Sistema de Microprodução

Tabela A.5: Custo sistema de microprodução

Tecnologia	Modelo	Potência (kW)/ Quant.	Custo Equip. (€)	O & M (€/ ano)
Micro-Turbina	SW Whisper 100	0,9 kW	2400	24
Painel fotovoltaico	BP 4180 T	0,180 kW	418	4
Bateria	Surrete 4KS25P	1	947	0
Inversor	AJ 275 S	0,275 kW	273	0

A.2.2 Edifício Urbano de Referência

• Análise da Produção Energética

Para a habitação urbana de referência será necessário uma potência de 2,16 kW para painel fotovoltaico, quatro baterias e um conversor com 1,6 kW de potência. Na figura A.2 encontra-se ilustrado a produção média mensal de eletricidade.

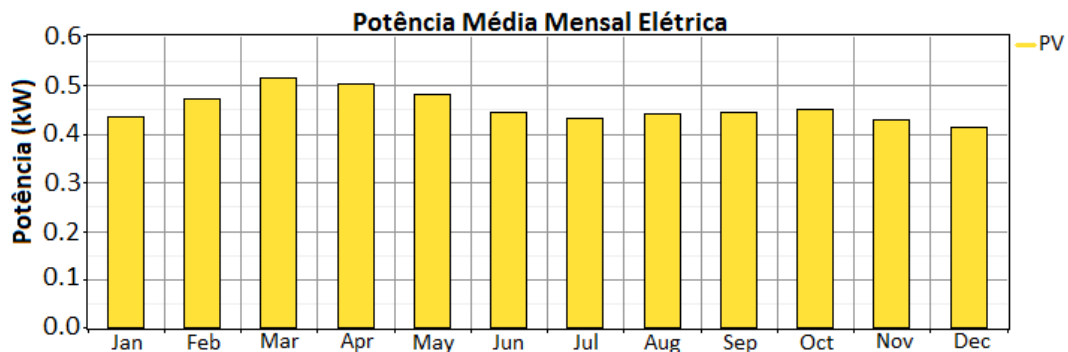


Figura A.2: Produção média mensal da eletricidade [DesignBuilder]

Da figura A.3 verifica-se que o horário de produção de painel fotovoltaico é entre às 7h :00 e às 18h :00.

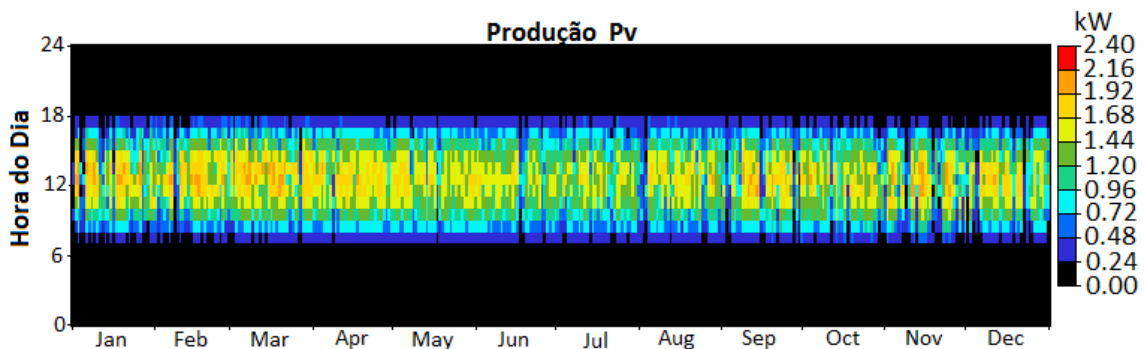


Figura A.3: Produção PV [DesignBuilder]

Com este sistema consegue-se suprir todas as necessidades energéticas do edifício (figura A.4).

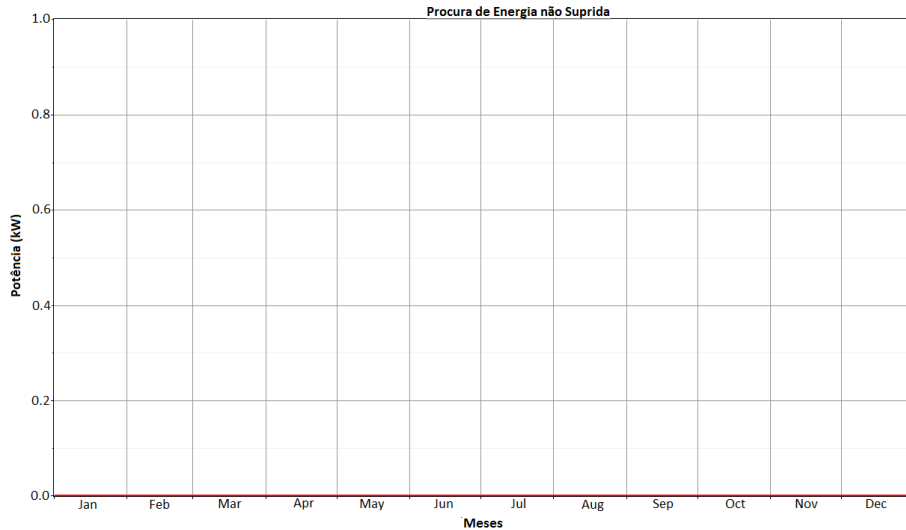


Figura A.4: Necessidade energética suprida [*DesignBuilder*]

Através da figura A.5 pode-se observar que as baterias não descarregam muito, o que lhe confere mais tempo de vida, visto que tem menos ciclos de cargas e descargas. Estes têm uma autonomia de cerca de 70,2 h, o que corresponde a aproximadamente 2,93 dias.

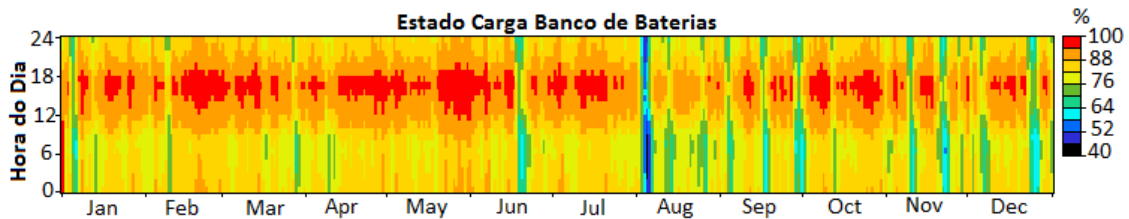


Figura A.5: Estado de carga das baterias [*DesignBuilder*]

- **Análise de Custo**

O sistema de microprodução para a produção de energia elétrica na habitação urbano de referência custa 13200 €. Na figura A.6 apresenta-se o custo discriminado por tipo de equipamentos.

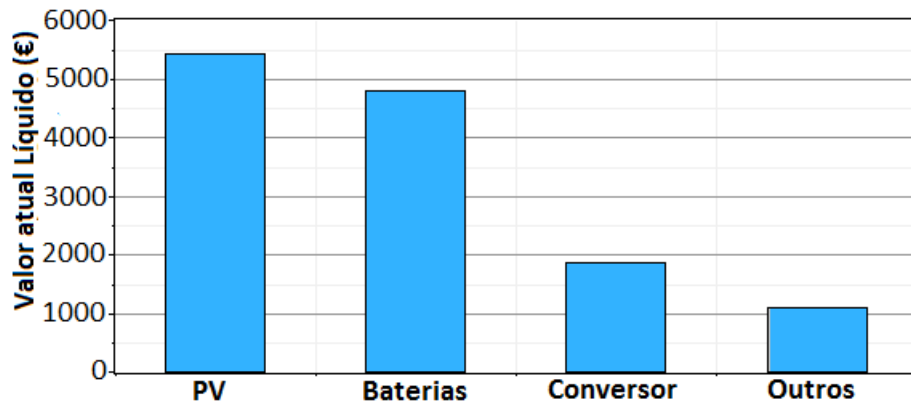


Figura A.6: VAL por tipo de equipamento [DesignBuilder]

A.2.3 Edifício Rural de Referência

Para a velocidade média de vento de $5,4 \frac{m}{s}$, é necessário uma potência PV de $1,98 \text{ kW}$, quatro baterias e $1,3 \text{ kW}$ de potência de conversor. Na figura A.7 pode-se observar a produção média mensal do sistema.

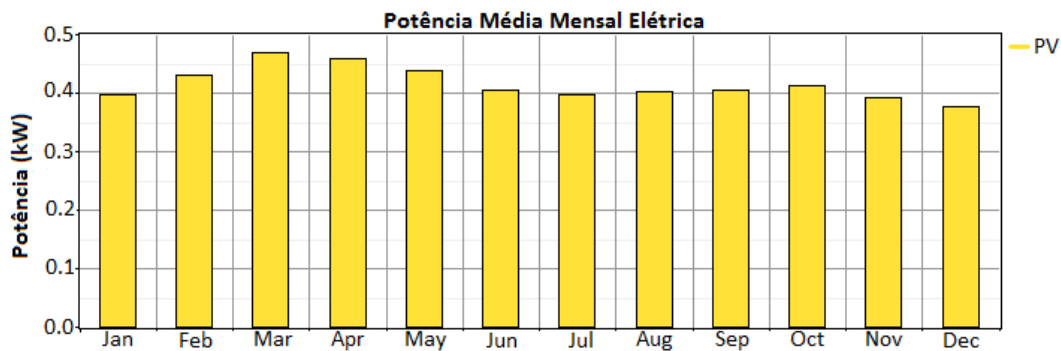


Figura A.7: Produção média mensal da eletricidade [DesignBuilder]

Também o horário da produção fotovoltaico situa-se entre às $7 \text{ h} :00$ e às $18 \text{ h} :00$ (figura A.8).

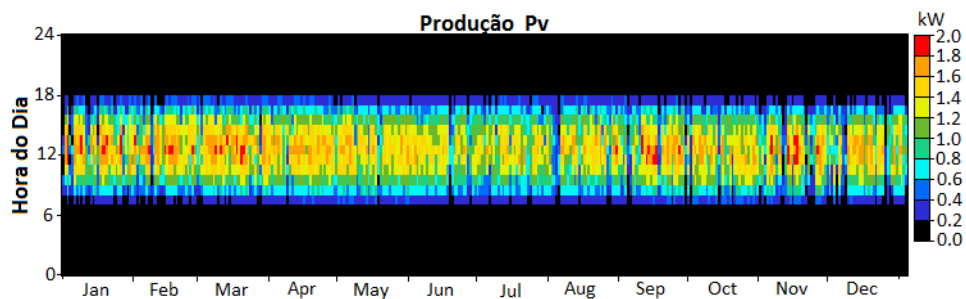


Figura A.8: Produção PV

A produção consegue suprir todas as necessidades energéticas da habitação. As baterias têm uma autonomia de 72 h (aproximadamente, 3 dias).

- **Análise de Custo**

O sistema de microprodução para a produção de energia elétrica no edifício rural de referência tem um VAL de 12436 €. A figura A.9 mostra os custos por tipo de equipamentos utilizados.

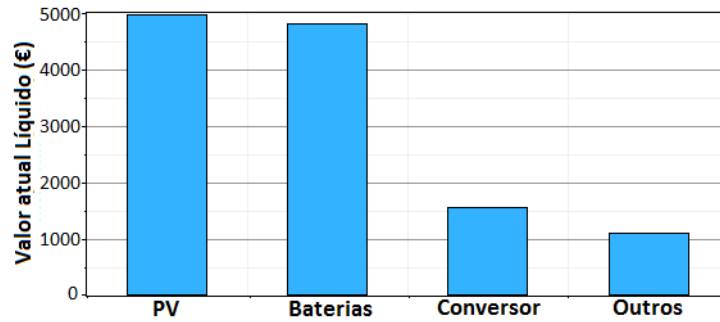


Figura A.9: VAL por tipo de equipamento

A.3 Ocupação dos Edifícios

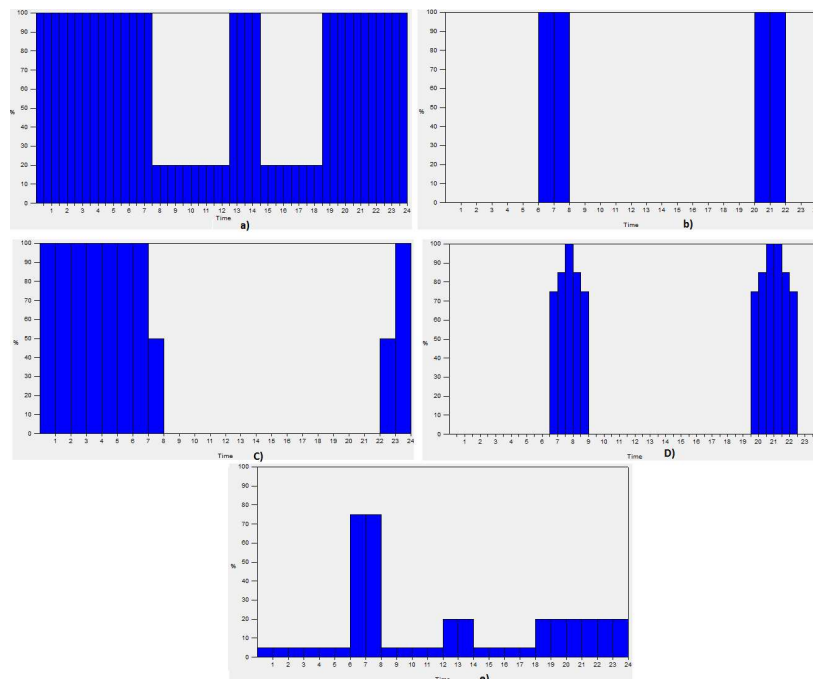


Figura A.10: Ocupação dia de semana: a) casa, b) sala, c) quartos, d) cozinha, e) WC [HOMER]

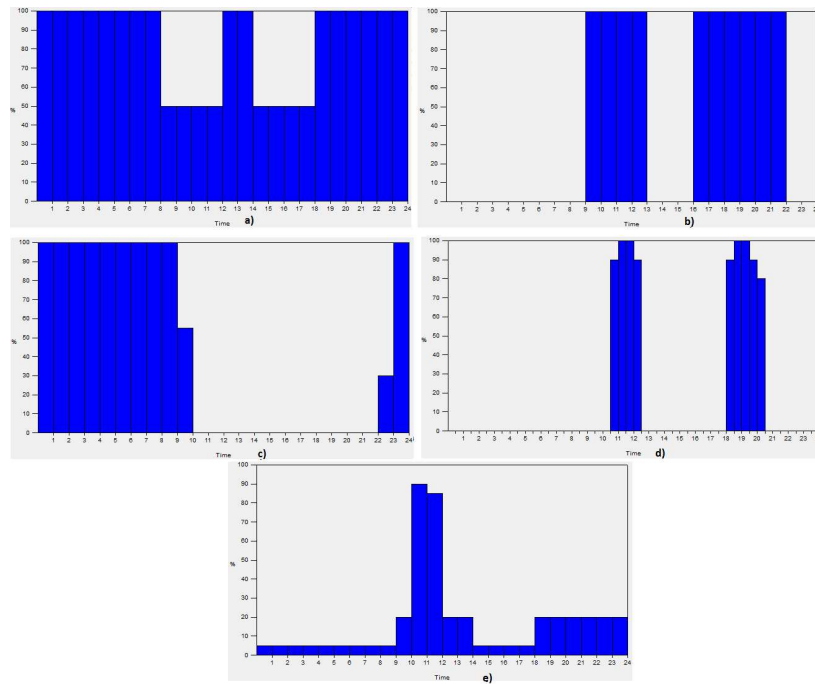


Figura A.11: Ocupação fim de de semana: a) casa, b) sala, c) quartos, d) cozinha, e) WC [*HOMER*]