

Desenvolvimento de um simulador para sistemas solares fotovoltaicos ligados à rede elétrica para Cabo Verde

Maxson David Correia da Costa

**Trabalho de projeto apresentado à Escola Superior de Tecnologia e Gestão
de Bragança para a obtenção do grau de Mestre em Energias Renováveis e
Eficiência Energética**

Orientado por:

Professor Doutor Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares

Bragança, Setembro de 2022

Agradecimento

Agradeço a toda minha família, meus pais, meus irmãos e meus amigos que me apoiaram ao longo da minha vida académica.

O meu orientador, Professor Doutor Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares, pelo apoio ao longo da realização deste trabalho, sempre compreensivo e disposto a ajudar.

A todos os meus professores, principalmente Professor Doutor Luís Manuel Frólén Ribeiro, que contribuíram directa e indirectamente para a concretização deste trabalho e pelo apoio durante a realização desta etapa.

Aos meus colegas, principalmente Luís Miguel Brito pela amizade e apoio ao longo da realização deste trabalho e percurso académico.

Obrigado a todos!

Dedicatória

Dedico este trabalho a toda a minha família, a minha mãe, pai e irmãos pelo apoio e sacrifício que fizeram por mim.

Dedico também aos meus amigos por todo o apoio que me deram.

Resumo

O presente trabalho descreve o desenvolvimento de um simulador para o dimensionamento de sistemas solares fotovoltaicos ligados à rede elétrica, para clientes com contrato em baixa tensão nominal, baixa tensão especial e média tensão, para Cabo Verde. O simulador permite ao utilizador o dimensionamento para dois casos, um com base no consumo médio diário do cliente (00:00H às 23:00H), e outro com base no consumo médio durante o período de insolação solar (06:00H às 18:00H), com o propósito de maximizar o potencial renovável.

Para os dois cenários, é avaliado o risco de injeção ou não da energia excedente produzida pelo sistema fotovoltaico na rede elétrica.

O desenvolvimento do simulador foi feito utilizando a linguagem de programação java no ambiente de desenvolvimento Netbeans. O desenvolvimento do mesmo foi feito com recurso a uma interface gráfica com o usuário (GUI), em que o usuário possa interagir com o simulador, preenchendo alguns dados de entrada, que servirão de registo do cliente e de base para o dimensionamento do sistema solar fotovoltaico, tais como: nome de usuário, tipo de cliente, tipo de simulação, ilha, energia consumida e módulo fotovoltaico. Este simulador é programável possibilitando ao utilizador ter as seguintes saídas: potência do painel solar fotovoltaico, potência do inversor, quantidade de painéis fotovoltaicos, ângulo de inclinação de painéis, investimento previsto do sistema, custo economizado, período de retorno de investimento, bem como a emissão evitada de CO₂ para a atmosfera.

Deste modo, este simulador constitui uma mais-valia para qualquer usuário ligado à rede com contrato em baixa tensão nominal, baixa tensão especial e média tensão, “leigo” na matéria, possibilitando-o a ter uma ideia de como vai ser seu sistema, antes de consultar um técnico especialista ou uma empresa da área renovável e com o objetivo de prever o sistema a ser instalado, bem como ter ideia da ordem do valor do custo de investimento.

Palavras – chaves: energias renováveis, sistemas fotovoltaicos, java netbeans, simulador solar fotovoltaico.

Abstract

The present work describes the development of a simulator for the dimensioning of photovoltaic solar systems connected to the electricity grid, for customers with a contract in nominal low voltage, special low voltage and medium voltage, for Cape Verde. The simulator allows the user to design for two cases, one based on the average daily consumption of the customer (00:00H to 23:00H), and the other based on the average consumption during the period of solar insolation (06:00H to 18:00: 00H), with the aim of maximizing the renewable potential.

For both scenarios, the risk of injecting or not the excess energy produced by the photovoltaic system into the electricity grid is evaluated.

The development of the simulator was done using the java programming language in the Netbeans development environment. Its development was done using a graphical user interface (GUI), in which the user can interact with the simulator, filling in some input data, which will serve as a customer record and as a basis for the design of the solar system. photovoltaic system, such as: user name, customer type, simulation type, island, energy consumed and photovoltaic module. This simulator is programmable allowing the user to have the following outputs: photovoltaic solar panel power, inverter power, number of photovoltaic panels, panel inclination angle, expected system investment, cost saved, payback period, as well as the avoided emission of CO₂ to the atmosphere.

In this way, this simulator is an asset for any user connected to the network with a contract in rated low voltage, special low voltage and medium voltage, ‘‘layman’’ in the matter, allowing him to have an idea of how his system, before consulting a specialist technician or a company in the renewable area and with the objective of predicting the system to be installed, as well as having an idea of the order of value of the investment cost.

Keywords: renewable energies, photovoltaic systems, java NetBeans, solar photovoltaic simulator.

Lista de Figuras

Figura 1: Tipos de sistema solar fotovoltaico (Off-Grid e On-Grid)	5
Figura 2: Pannel solar de silício monocristalino.....	6
Figura 3: Pannel solar fotovoltaico policristalino	7
Figura 4: Pannel solar de silício amorfo	9
Figura 5: Pannel solar de Telureto Cádmio	9
Figura 6: Pannel solar de Seleneto de Cobre, Índio e Gálio	9
Figura 7: pannel solar fotovoltaico orgânico (OPV).	10
Figura 8: Pannel solar híbrido – HJT	11
Figura 9: Pannel solar BI-PV	11
Figura 10: Interface principal do simulador EDP	13
Figura 11: Interface de simulador Portal Solar.....	13
Figura 12: Interface de saída de informações do Simulador Portal Solar.....	14
Figura 13: Interface de entrada de dados do cliente, simulador pannel solar Worten.....	15
Figura 14: interface com dados de saída do simulador pannel solar Worten.....	15
Figura 15: Instalação fotovoltaica cumulativa global por região situada em 2020	17
Figura 16: Evolução de energia solar PV instalada no mundo de 2010 a 2020.....	18
Figura 17: Produção dos módulos fotovoltaicos a nível mundial de 2010 a 2020.....	18
Figura 18: Evolução mundial da produção fotovoltaico em MWp de 1990 a 2020	18
Figura 19 - Radiação solar em Cabo Verde.....	22
Figura 20 - Produção solar fotovoltaica estimada para 1 kWp.....	22
Figura 21 - Parque fotovoltaico na ilha de Santiago.....	23
Figura 22 - Parque fotovoltaico na ilha do Sal.....	24
Figura 23 - Sistema solar de Monte Trigo.....	26
Figura 24 - Ilustração da janela JFrame.....	33
Figura 25 - Ilustração da janela de palete dos componentes e suas propriedades.....	33
Figura 26 - Esquema de botão JButton.....	34
Figura 27 - Esquema de JLabel.....	35
Figura 28 - Esquema de JRadioButton.....	35
Figura 29 - Esquema de JSeparator	36
Figura 30 - Esquema de JTextField.....	36
Figura 31 - Esquema de JScrollPane.....	37
Figura 32 - Esquema de JPanel.....	37

Figura 33 - Esquema de JComboBox.	38
Figura 34 - Esquema de ButtonGroup	39
Figura 35 - Diagrama de interacção do utilizador com o Simulador.	42
Figura 36 - Janela de pacote de trabalho e classe usado para criação do simulador.	43
Figura 37 - Telas do Simulador.	43
Figura 38 - Diagrama da actividade da primeira interface do Simulador.	44
Figura 39 - Esquema de código usado para chamar outra tela na primeira interface gráfica. .	45
Figura 40 - Diagrama da actividade de interface do simulador - Simulação com base no consumo de energia durante o período solar 06 às 18 horas BTN.	45
Figura 41 - Esquema de uma parte de código mostrando cálculo de potência de sistema de acordo com a selecção da ilha.	46
Figura 42 - Esquema de uma parte de código usado em botão calcular.	46
Figura 43 - Diagrama da actividade do simulador base no consumo diário BTN.	48
Figura 44- Parte de código para cálculo de número de painel.	48
Figura 45: Fatura de electricidade usado para simulação.	53
Figura 46: Diagrama de carga diário	54
Figura 47: Primeira interface do Simulador.	55
Figura 48: Janela de interface de simulação PV 06 às 18 horas BTN.	56
Figura 49: Janela de interface de simulação PV 06 às 18 horas BTN	57
Figura 50: Mix entre consumo diário e a energia produzida pelo sistema 0,97 kWp da simulação cenário 1.	57
Figura 51: Janela de interface de simulação PV 00 às 23 horas BTN	58
Figura 52: - Janela de interface de simulação PV 00 às 23 horas BTN.	59
Figura 53: Mix entre consumo diário e a energia produzida pelo sistema de aproximadamente 1,6 kWp da simulação cenário 2.	60
Figura 54: Primeira interface do Simulador.	61
Figura 55: - Janela de interface de simulação PV 06 às 18 horas BTE	61
Figura 56: Janela de interface de simulação PV 06 às 18 horas BTE.	62
Figura 57: - Janela de interface de simulação PV 00 às 23 horas BTE	63
Figura 58: Janela de interface de simulação PV 00 às 23 horas BTE.	64
Figura 59: Primeira interface do Simulador.	65
Figura 60: Janela de interface de simulação PV 06 às 18 horas MT	66
Figura 61: - Janela de interface de simulação PV 06 às 18 horas MT	66
Figura 62: - Janela de interface de simulação PV 00 às 23 horas MT	67

Figura 63: Janela de interface de simulação PV 00 às 23 horas MT68

Lista de Tabelas

Tabela 1:O Ranking de Energia Solar (link: Mapeado: Energia Solar por País em 2021 (visualcapitalist.com)).....	19
Tabela 2 - Capacidade instalada de solar fotovoltaico por sector a nível mundial [21].	20
Tabela 3 - Radiação solar das ilhas de Cabo Verde [21].	20
Tabela 4 - Latitude da cidade da Praia e do Mindelo [21].	21
Tabela 5 - Características técnicas da Central Fotovoltaica de Monte Trigo [26].....	25
Tabela 6 – Classificação dos níveis de tensão [27].	29
Tabela 7 – Tarifa de eletricidade praticada pela Electra [62].	30
Tabela 8: – Média de consumo de energia diária.	54

Índice

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 - Introdução.....	1
1.2 - Objetivo Geral	2
1.3 - Objetivo Específico	2
1.4 - Metodologia.....	3
1.5 - Estrutura do Trabalho	3
CAPÍTULO 2 – ESTADO DE ARTE	4
2.1 - Sistemas de Energias Solar Fotovoltaico.....	4
2.2 - Principais Tecnologias dos Módulos Solar Fotovoltaico	5
2.2.1 - Painel Solar de Silício Monocristalino	6
2.2.2 - Painel Solar Fotovoltaico de Silício Policristalino	7
2.2.3 - Painel Solar Fotovoltaico de Filme ou Película Fino (TFPV).....	8
2.2.4 - Painel Solar Híbrido (HJT).....	10
2.2.5 Painel Solar Bifacial (BI-PV)	11
2.3 - Simulador Solar	12
2.3.1 - Simulador Solar EDP.....	12
2.3.2 - Simulador Solar Portal Solar	13
2.3.3 - Simulador Painéis Solares Worten	14
2.3.4 - Simulador Solar Impact	16
CAPÍTULO 3 – SITUAÇÃO ATUAL DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICO	17
3.1 - Energia Solar Fotovoltaica à Nível Mundial	17
3.2 - Energia Solar em Cabo Verde	20
3.2.1 - O Parque Solar.....	22
3.2.2 - O Sistema Isolado.....	24
3.2.3 - A Microgeração	26
3.2.4 - Escalões de Eletricidade	29

3.2.5 - Tarifas eletricidade	30
CAPÍTULO 4 – DESCRIÇÃO DAS FERRAMENTAS UTILIZADAS PARA DESENVOLVER O SIMULADOR	31
4.1 - Linguagem Java	31
4.1.1 - Ambiente de Desenvolvimento	31
4.1.2 - Kit de Desenvolvimento de Java	32
4.1.3 - Interface Gráfica com o Utilizador	32
4.1.4 - Pacotes de Trabalho em Java Netbeans	32
4.1.5 - Classes em Java Netbeans	32
4.2 - Descrição dos Componentes utilizados em janela JFrame	34
4.2.1 - Descrição do componente JButton	34
4.2.2 - Descrição do componente JLabel	34
4.2.3 - Descrição do componente JRadioButton.....	35
4.2.4 - Descrição do componente JSeparator	35
4.2.5 - Descrição do componente JTextField.....	36
4.2.6 - Descrição do componente JScrollPane	36
4.2.7 - Descrição do componente JPanel	37
4.2.8 - Descrição do componente JComboBox.....	38
4.2.9 Descrição do componente ButtonGroup	38
4.3 Linguagem de Modelação UML	39
CAPITULO 5 – DESENVOLVIMENTO DO SIMULADOR.....	41
5.1 - Desenvolvimento	41
5.2 - Requisitos Funcionais.....	41
5.3 - Requisitos não Funcionais	41
5.4 - Interface principal do Simulador (diagrama de actividade)	44
5.4.1 - Interface da Simulação para consumo durante o período solar 06 às 18 horas BTN ...	45
5.4.2 - Interface da Simulação para consumo durante o período solar 06 às 18 horas BTE ...	47

5.4.3 - Interface da Simulação para consumo durante o período solar 06 às 18 horas MT	47
5.4.4 - Interface da Simulação com base no consumo de energia diário (00-23 horas) BTN .	47
5.4.5 - Interface da Simulação com base no consumo de energia diário (00-23 horas) BTE..	48
5.4.6 - Interface da Simulação com base no consumo de energia diário (00-23 horas) MT ...	49
5.5 - Dimensionamento de sistemas solar fotovoltaico ligado à rede elétrica	49
5.6 - Fórmulas Usada para o Dimensionamento do Simulador	50
5.6.1 - Dimensionamento do PV com base no consumo de energia durante o período solar (06-18 h)	51
5.6.2 - Dimensionamento do PV com base no consumo de energia diário (00-23 h)	52
CAPITULO 6 – CASO DE ESTUDO E RESULTADOS	53
6.1 - Caso de estudo	53
6.2 - Resultados.....	54
6.2.1 Simulação do sistema BTN com base no consumo de energia no período solar (06-18 h)	55
6.2.2 Simulação do sistema com base no consumo de energia diário 00_às_23_horas_BTN	58
6.2.3 Resultado Simulação do sistema com base no consumo de energia das 06_às_18_horas_BTE.....	60
6.2.4 Resultado Simulação do sistema com base no consumo de energia diário 00_às_23_horas_BTE.....	62
6.2.5 Resultado Simulação do sistema com base no consumo de energia das 06_às_18_horas_MT.....	64
6.2.6 Resultado Simulação do sistema com base no consumo de energia diário 00_às_23_horas_MT.....	67
CAPITULO 7 – CONCLUSÃO	69
7.1 - Conclusão	69
Referências.....	Erro! Marcador não definido.

Lista de Abreviaturas e Siglas

BTN – Baixa Tensão Nominal

BTE – Baixa Tensão Especial

BIPV – Building Integrated Photovoltaic

CDTE – Solar Panel of Cadmium Tellurium

CIS/CIGS – Solar Panels of Copper, Indium and Gallium Selenide

DL – Decreto-Lei

ELECTRA – Empresa de Eletricidade

HCI – Interacção Homem- Computador

IVA – Imposto sobre Valor Acrescentado

IDE – Integrated Development Environment

JDK – Java Development Kit

MT – Média Tensão

NHS – Números de Horas do Sol

OPV – Organic Photovoltaic Cells

PV – Fotovoltaico

PG - Programa do Governo

PNSE – Plano Nacional de Sustentabilidade Energética

PEDS – Programa Estratégico de Desenvolvimento Sustentável

PVE – Preço de Venda de Energia

SEN – Sistema Eléctrico Nacional

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 - Introdução

O impacto dos problemas ambientais causados pela explosão da actividade económica e industrial é um dos assuntos do dia. A Humanidade está mais do que nunca concentrada na resolução do problema do aquecimento global, unindo esforços para diminuir os efeitos secundários negativos que a actividade humana tem causado no nosso planeta. O recurso a combustíveis fósseis para produção de energia eléctrica é insustentável a médio prazo, e o recurso às chamadas energias renováveis para produção de energia eléctrica é cada vez mais uma aposta global [1].

As fontes de energias renováveis que mais se fala hoje são a energia eólica e, principalmente, a solar fotovoltaica. Os investimentos nestas fontes de energia resultaram inicialmente de preocupações ao nível da segurança energética, depois de várias crises petrolíferas, mas hoje destacam-se sobretudo devido aos seus benefícios ambientais [2].

É de crucial importância investir hoje em dia em energias renováveis, sobretudo em países insulares, como Cabo Verde, que sofre com a escassez de recursos naturais, como por exemplo, a água, gás natural e o petróleo, aproveitando assim a sua boa condição natural para o aproveitamento do sol e do vento. Sendo que em pequena escala, a aposta em fontes solares, será sempre uma mais-valia em termos técnicos e económicos [3].

Assim, o mercado de energias renováveis, e sobretudo o solar fotovoltaico tem ganhado notoriedade, com cada vez mais apostas nesta forma de produção de electricidade. Isso deve-se nomeadamente ao desenvolvimento de painéis com melhor performance, ao custo de investimento inicial do sistema mais baixo, à poupança que se consegue obter e, à confiança cada vez mais neste tipo de sistema. Além disso, o melhoramento de softwares de simulação tal como *PVSyst*, *PVSol*, *PVGis*, entre outros, como Sunny Design, que são usados pelos profissionais, vão dando mais garantias e performance do sistema junto dos clientes finais.

Os sistemas fotovoltaicos são muito mais viáveis hoje do que há 10 anos, mas algumas pessoas ainda não sabem tirar o melhor proveito deste bem natural e gratuito o “sol”. Além do forte apelo ambiental, porque reduz consideravelmente a emissão de CO₂, gás nocivo à saúde

humana e ao meio ambiente, actualmente a adesão aos sistemas solares impacta directamente no bolso dos consumidores, que podem reduzir seus custos com energia eléctrica em até 90% [4]. Entretanto, com tudo isto, muito ainda são as dúvidas na tomada de decisão por parte dos clientes finais, ``leigos`` na matéria.

Deste modo, o desenvolvimento de um simulador solar simples que sirva de suporte para qualquer cidadão na tomada de decisão será sempre uma mais-valia. O referido simulador servirá como suporte na simulação do potencial do sistema fotovoltaico ligado à rede para duas situações distintas. Uma, com base nos dados do consumo médio diário, e outra, com base no consumo médio, apenas durante o período de insolação solar (06:00H às 18:00H), com o propósito de maximizar o potencial renovável. Para as duas situações serão dadas a conhecer, ao cliente final, os dados do sistema: potência do sistema, número de módulos, potência do inversor, ângulo de inclinação, custo do sistema, CO₂ evitado e período de retorno do capital investido.

1.2 - Objetivo Geral

A presente proposta tem como objetivo geral e já referido atrás, a criação de um simulador solar fotovoltaico, para sistemas ligados à rede em baixa tensão nominal, baixa tensão especial e média tensão, mostrando os benefícios económicos que o cliente poderá ter, bem como os ganhos ambientais.

1.3 - Objetivo Específico

Desenvolver uma aplicação com interface gráfica que permita:

- Dimensionar um sistema fotovoltaico, com base num simulador, tendo em conta a localização e o consumo da instalação;
- Determinar a quantidade de módulos, a potência do sistema, o ângulo de inclinação e a potência do inversor;
- Avaliar o custo evitado;
- Quantificar a emissão de CO₂ que pode ser evitada;
- Determinar o capital de investimento e o período de retorno de investimento.

1.4 - Metodologia

O trabalho foi desenvolvido com base na pesquisa bibliográfica sobre a temática de energias renováveis, softwares e simuladores solar, consistindo na recolha e análise de artigos científicos especializados, leitura de dissertações de mestrado e de doutoramento, consulta de sites e outras publicações na Internet, de forma a adquirir e consolidar o conhecimento relacionadas com o tema. O trabalho inclui ainda o desenvolvimento da aplicação, com recurso à linguagem de programação java orientada a objeto, que se iniciou com as pesquisas de vídeos de aulas de programação orientada a objeto, leitura de alguns livros de programação orientada a objeto.

1.5 - Estrutura do Trabalho

Este relatório está estruturado em 7 capítulos, descritos a seguir:

No capítulo 1 é feita uma introdução com um enquadramento teórico sobre o qual sustenta a realização desse trabalho, com uma breve apresentação do contexto. Também estão descritos os objetivos gerais e específicos para a concretização do mesmo, bem como a estruturação do relatório, para melhor compreensão do mesmo.

No capítulo 2 refere-se estado de arte, procura-se dar um pouco a conhecer sobre sistemas solares fotovoltaicos, vantagens e desvantagens, efeito fotovoltaico, elementos básicos dos sistemas fotovoltaicos, tipos de configurações dos sistemas fotovoltaicos, tecnologia dos módulos fotovoltaicos, e dar um pouco a conhecer dos simuladores solar fotovoltaico existentes.

No capítulo 3 apresenta-se estudos actuais de matriz energética renováveis mundial, principalmente a nível do solar fotovoltaico no mundo e o seu crescimento, focando também a capacidade instalada de energia solar fotovoltaico em Cabo Verde.

No capítulo 4 são descritas as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento do simulador solar fotovoltaico, nomeadamente a linguagem de programação utilizada, radiação solar nas ilhas de Cabo Verde e os ângulos de inclinação para cada ilha.

No capítulo 5 são apresentados os procedimentos utilizado para o desenvolvimento do simulador e todos os conceitos por detrás do simulador.

No capítulo 6 são apresentados os resultados práticos de um caso real de estudo, apresentando todos os outputs do simulador de forma a verificar o funcionamento do mesmo.

No capítulo 7 é apresentado a conclusão do trabalho

CAPÍTULO 2 – ESTADO DE ARTE

2.1 - Sistemas de Energias Solar Fotovoltaico

Os Sistemas fotovoltaicos são sistemas que geram energia elétrica a partir das células fotovoltaicas, ou seja, transformam radiação solar em energia elétrica através de efeitos fotovoltaicos que acontece quando a energia de fótons da luz é transferida aos elétrons permitindo assim a movimentação que por sua vez gera corrente elétrica [5].

Os sistemas fotovoltaicos apresentam como vantagens [6]:

- As centrais necessitam de mínima manutenção;
- Não há poluição durante seu uso;
- Geração próxima dos consumidores, reduzindo assim necessidades de investimento em transmissão;
- Baixo impacto ambiental (baixa emissão de CO₂).

E as principais desvantagens são [6]:

- Existência de variação nas quantidades de produção de acordo com a situação climática;
- As formas de armazenar a energia normalmente são pouco eficientes comparando com as de combustíveis fósseis.

O sistema fotovoltaico pode ser dividido em dois grupos:

- i. Sistemas autónomos ou isolados (Off-Grid).
- ii. Sistemas ligados à rede elétrica (On-Grid), sendo para este tipo de sistema que vai ser desenvolvido o trabalho.

Nos **sistemas autónomos ou isolados**, a produção e o consumo não têm interligação com outros sistemas, ainda que possam ser constituídos por mais do que uma fonte de energia e mais do que um consumidor. A produção e distribuição elétrica em pequenas comunidades rurais isoladas são um exemplo de um sistema autónomo.

Para assegurar o funcionamento sem falhas de sistemas autónomos concetualmente renováveis é comum existirem meios complementares de produção (sistemas híbridos), baseados em

geradores diesel, ou baterias (sistema autónomo 100% renovável). Nos sistemas autónomos, de acordo com a aplicação, pode incluir o painel fotovoltaico, as baterias (de modo a assegurar a alimentação das cargas em períodos em que não há radiação solar ou esta é insuficiente), o controlador de carga (para gerir a carga e a descarga das baterias) e o inversor (no caso da necessidade de alimentar cargas em corrente alternada).

Os sistemas com ligação à rede elétrica pública de distribuição de eletricidade difere do sistema solar fotovoltaico isolado por não utilizarem baterias e controladores de cargas [7].

Sendo assim, esses sistemas podem ser representados pelas figuras 2(a) e 2(b), representando sistemas solar fotovoltaico isolado e solar fotovoltaico ligados à rede elétrica, respetivamente.

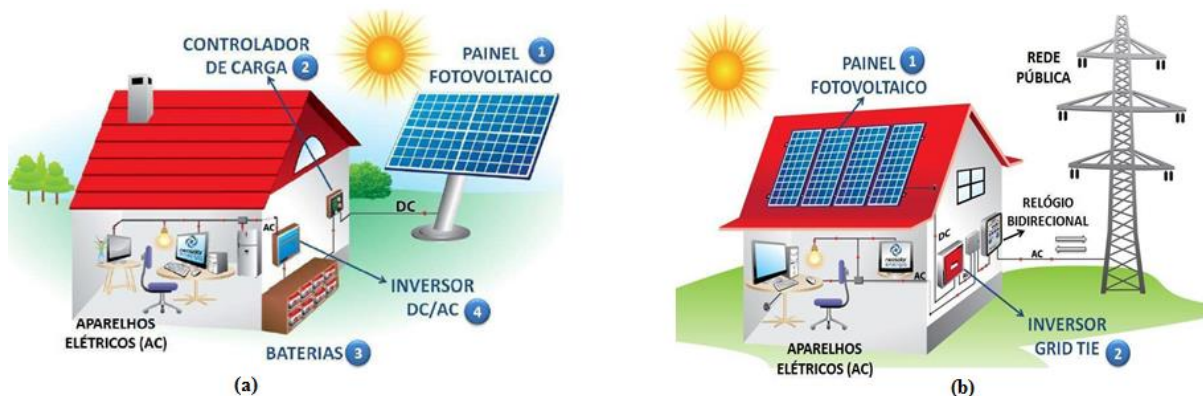


Figura 1: Tipos de sistema solar fotovoltaico (Off-Grid e On-Grid) [7].

2.2 - Principais Tecnologias dos Módulos Solar Fotovoltaico

Um dos elementos em que diferem os sistemas solares fotovoltaicos são as tecnologias dos painéis fotovoltaicos, onde se destacam os seguintes [8]:

- Painel Solar de Silício Monocristalino;
- Painel Solar de Silício Policristalino;
- Painel Solar de Filme Fino;
 - Painel Solar de Silício Amorfo (a-Si);
 - Painel Solar de Telureto de Cádmio (CdTe);
 - Painéis Solares de Seleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIS/CIGS);
 - Células Fotovoltaicas Orgânicas (OPV);
- Painel Solar Híbrido (HJT);
- Painel Bifacial (BI-PV).

2.2.1 - Painel Solar de Silício Monocristalino

A Tecnologia monocristalino é a mais antiga e possui a eficiência mais alta. São facilmente reconhecíveis, possuem uma cor uniforme, indicando silício de alta pureza e cantos arredondados como se pode ver na figura 2.



Figura 2: Painel solar de silício monocristalino [8].

Eles são feitos a partir de um único cristal de silício ultrapuro, que são fatiados fazendo assim lâminas de silício individuais, que são tratadas e transformadas em células fotovoltaicas. Apresenta uma eficiência média de 15-22%, forma arredondada e tamanhos padrão de 10*10 cm; 12.5*12.5 cm e 15*15 cm.

As grandes vantagens dos painéis monocristalino são:

- Alta eficiência dentro das tecnologias comerciais;
- Menor área ocupada;
- O tempo de vida útil normalmente é superior a 30 anos e com garantia de 25 anos;
- Tendência a funcionar melhor do que os restantes painéis solares em condições de pouca radiação;

E como desvantagens, são o alto preço para aquisição dos módulos e elevados resíduos de silício gerados no seu fabrico.

2.2.2 - Painel Solar Fotovoltaico de Silício Policristalino

Esta tecnologia apresenta semelhança ao monocristalino por ser feita de silício, mas diferem no método utilizado na fundição dos cristais. São fundidos em blocos, cortados e fatiados, onde é possível observar a formação múltiplas dos cristais, como pode ver na figura 3.



Figura 3: Painel solar fotovoltaico policristalino [8].

Os primeiros painéis solares de silício policristalino, conhecido como polisilício (P-SI) e silício multi- cristalino (MC-SI) foram introduzidos no mercado em 1981.

Eles apresentam uma eficiência média do painel solar policristalino de 14-20%, técnica- fundido de polisilício, forma- quadrada, tamanhos padrões da célula fotovoltaico de 10*10 cm; 12.5*12.5 cm e 15*15, e apresentam uma cor azul [8].

As vantagens dos painéis solares fotovoltaico tipo policristalino, são:

- A quantidade de silício residual gerado durante o processo de corte das células fotovoltaica é menor em comparação com painel solar monocristalino;
- O tempo de vida útil normalmente é superior a 30 anos e com garantia de 25 anos;

Como desvantagens, têm menor eficiência face aos painéis monocristalinos, menos potência por hora, por m², ou seja, é preciso uma área maior de painel policristalino para gerar a mesma quantidade de watts/m² do que em painéis solares monocristalino.

2.2.3 - Pannel Solar Fotovoltaico de Filme ou Película Fino (TFPV)

São fabricados depositando uma ou várias camadas finas de matérias fotovoltaicas de filme fino. Os diferentes painéis solares de filme fino são:

- Silício Amorfo (a- Si);
- Telureto de Cádmio (CdTe);
- Cobre, Índio, e Gálio Seleneto (CIS/CIGS);
- Pannel Solar Fotovoltaico Orgânico (OPV).

Estas tecnologias apresentam eficiência média de 7-16% [8].

As vantagens de painéis solares fotovoltaicos de filme fino, são:

- Sua aparência homogênia é esteticamente bonita;
- Pode ser feita flexível, o que abre um leque de aplicação muito grande;
- Altas temperaturas e sombreamentos das árvores e outros obstáculos tem menos impactos sobre o desempenho do pannel de filme fino.

E apresentam como desvantagens:

- Esta tecnologia exige uma grande quantidade de espaços, geralmente não são utilizados nas maiorias das instalações de sistemas fotovoltaico residenciais;
- São menos eficientes por m^2 , o que significa que os seus custos com estrutura de instalação são elevados, mão de obra e cabeamento tendem a aumentar;
- Geralmente eles vêm com uma garantia mais curta, porque tendem a degradar mais rapidamente do que os painéis solares mono e policristalinos.

De entre painéis solares fotovoltaico de filme ou película fino, destacam-se:

i. Pannel Solar de Silício Amorfo (a -Si)

Nesta tecnologia a produção de energia elétrica é baixa, normalmente usada para aplicações de pequenas escalas e baixa potência, mas com as inovações recentes, permitiram que esta tecnologia seja utilizada em aplicações de larga escala também. Com a técnica de “empilhamento”, várias camadas de células solares de silício amorfo podem ser combinadas, o que resultam em taxas de eficiências tipicamente cerca de 6-9 % [8]. A figura 4, representa o pannel solar de Silício Amorfo.



Figura 4: Painel solar de silício amorfo [8].

ii. Painel Solar de Telureto de Cádmio (CdTe)

A eficiência desta tecnologia de Telureto de Cádmio, opera normalmente na faixa de 9-16 % [8]. A figura 5, representa o painel Solar de Telureto de Cádmio.



Figura 5: Painel solar de Telureto Cádmio [8].

iii. Painel Solar de Seleneto de Cobre, Índio, Gálio (CIS / CIGS)

Em comparação com as outras tecnologias de filme fino, esta célula solar mostra o maior potencial em termos de eficiência. Os índices de eficiência operam na faixa de 10-12%, a produção comercial de painel solar CIGS flexível foi iniciada na Alemanha em 2011 [8]. A figura 6, representa o painel solar de Seleneto de Cobre, Índio, Gálio.



Figura 6: Painel solar de Seleneto de Cobre, Índio e Gálio [8].

iv. Painel Solar Fotovoltaico Orgânico (OPV)

Painel solar orgânico é um tipo de painel solar de polímero que usa a eletrônica orgânica, um ramo de eletrônica que lida com polímeros orgânicos condutores em pequenas moléculas orgânicas para absorção de luz e transporte de carga para a produção de eletricidades a partir da luz solar pelo efeito fotovoltaico [8]. A figura 7, representa painel solar fotovoltaico orgânico.



Figura 7: painel solar fotovoltaico orgânico (OPV) [8].

2.2.4 - Painel Solar Híbrido (HJT)

Gera eletricidade e aquece a água, aproveitando tanto a energia captada pelas células fotovoltaicas como também consegue captar a energia térmica para aquecer a água. A eficiência dos painéis que utilizam esta tecnologia é de 21-24%, produzem mais energias por metro quadrado, funcionando muito bem com temperatura mais alta em comparação com outras tecnologias.

Esta tecnologia apresenta uma eficiência comercial de aproximadamente 24 %, são de forma arredonda, e tamanho padrão das células é 156 mm * 156 mm, apresentando uma cor quase preta [8]. A figura 8, representa painel solar híbrido – HJT.



Figura 8: Painel solar híbrido – HJT [8].

2.2.5 Painel Solar Bifacial (BI-PV)

Possuem células fotovoltaicas com duas faces, em vez de uma, para absorver a energia solar radiante. Eles utilizam-se do efeito do Albedo, onde a luz solar refletida do solo ou de alguma superfície é absorvida e a partir da qual o painel bifacial é capaz de oferecer um aumento de potência à saída. Sob condições de teste padrão (STC), painéis bifaciais podem gerar 30% a mais de energia, fazendo uso de sua superfície traseira. Historicamente, as células bifaciais foram direcionadas para aplicações BIPV (Building Integrated Photovoltaic) ou em áreas onde grande parte da energia solar disponível é a luz solar refletida pelo chão ou por objetos ao redor. No entanto, a queda significativa no custo do vidro solar (utilizado nestes painéis fotovoltaicos) nos últimos anos tem tornado o uso de encapsulamento de vidro de dupla face viável e tem impulsionado a pesquisa e desenvolvimento dos painéis bifaciais [8].

Como se pode se ver pela figura 9, exemplo de aplicação de painéis BI-PV.



Figura 9: Painel solar BI-PV [8].

Com a diminuição do custo dos painéis solares, o aumento do custo de eletricidade, a política nacional para a sustentabilidade energética, fazem com que muitos consumidores enveredam

pela microprodução, com instalação de sistemas solares fotovoltaico para autoconsumo. Entretanto, existem inúmeras soluções e empresas instaladoras que apresentam soluções optimizadas por cliente, pelo que convém que cada cliente conheça minimamente o que consome, o que pode instalar e que ganhos pode obter com um investimento nesta tecnologia. Por este motivo, têm surgido alguns simuladores de sistemas solares, para apoio aos consumidores.

2.3 - Simulador Solar

É uma ferramenta desenvolvida por diversas empresas, entidades e concessionárias, com o objetivo de apoiar os consumidores interessados em investimento renovável. Dependendo da estrutura, possibilitam simular os benefícios provenientes do uso da energia solar, ou seja, apresentado um conjunto de resultados que podem ir desde a potência do sistema solar, quantidade de painéis solares e inclinação, a área a ser ocupada, além de poderem apresentar informações económicas do sistema, tais como a estimativa de investimento, economia a ser obtida na fatura de eletricidade (diária, mensal e anual), tempo de retorno do seu investimento, CO₂ evitado, entre outros [9].

Vários são os simuladores solares fotovoltaicos existentes, cada um com suas funções e características específicas. Alguns exemplos de simuladores utilizados em diferentes países, pelas empresas concessionárias ou empresas instaladoras, são:

- Simulador Solar EDP (Portugal);
- Simulador Solar Portal Solar (Brasil)
- Simulador Painéis Solares Worten (Portugal)
- Simulador Solar Impact

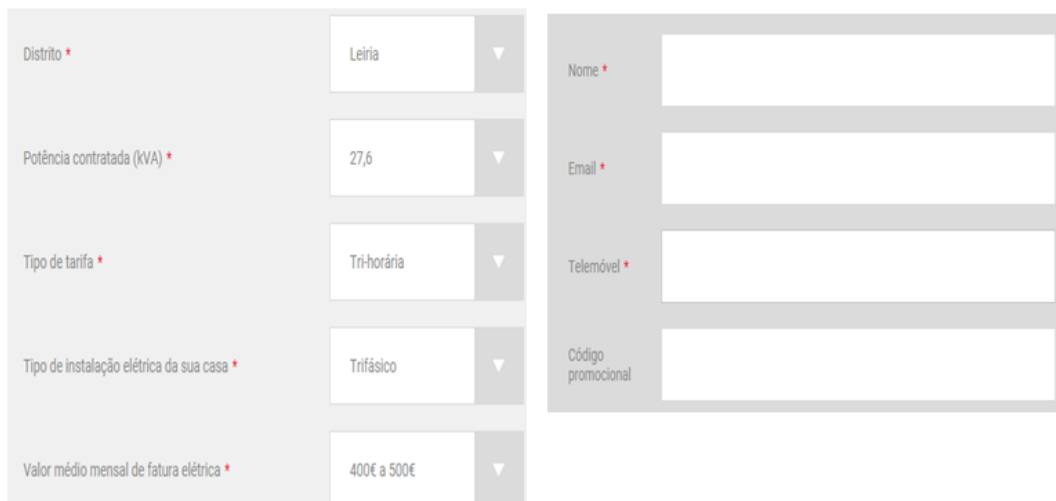
Na introdução foi exemplificado alguns exemplos de softwares com *PVSyst*, *PVSol* e *PVGis*, que são utilizados pelos profissionais, mas este simulador é desenvolvido para ser utilizado pelos clientes `leigos´ na matéria.

2.3.1 - Simulador Solar EDP

O referido simulador solar foi desenvolvido para facilitar o investimento em soluções solares fotovoltaicos nas 18 capitais de distrito de Portugal (Aveiro, Beja, Braga, Bragança, Castelo Branco, Coimbra, Évora, Faro, Guarda, Leiria, Lisboa, Portalegre, Porto, Santarém, Setúbal,

Viana do Castelo, Vila Real e Viseu) em que o utilizador possa preencher seguintes dados de entrada como: escolha da cidade, escolha de tipo de tarifa (monofásico, bifásico ou trifásico), escolha de tipo de instalação elétrica da sua instalação (simples, Bi- horária ou Tri-horária), nome e email. No final, obtém-se o resultado da simulação como potência do sistema fotovoltaico, custo economizado e quantidade de CO₂ que pode ser evitado. Todas estas saídas são enviadas via email [10].

A figura 10 mostra a interface principal do simulador.



The image shows a web form for an EDP simulator. On the left side, there are five dropdown menus with the following labels and values: 'Distrito *' (Leiria), 'Potência contratada (kVA) *' (27,6), 'Tipo de tarifa *' (Tri-horária), 'Tipo de instalação elétrica da sua casa *' (Trifásico), and 'Valor médio mensal de fatura elétrica *' (400€ a 500€). On the right side, there are four text input fields labeled 'Nome *', 'Email *', 'Telemóvel *', and 'Código promocional'.

Figura 10: Interface principal do simulador EDP [10].

Link-<https://simuladorenergiasolar.ovh/>

2.3.2 - Simulador Solar Portal Solar

Este tipo de simulador permite ao utilizador saber qual a dimensão do sistema fotovoltaico que precisa e o valor das parcelas caso queira financiamento do seu gerador de energia solar. A figura 11 mostra a primeira interface do Simulador.



The image shows a web form for the Portal Solar simulator. It contains five input fields: 'Nome completo*' (maxson costa), 'Estado*' (AC), 'Email*' (maxsondavid.costa@gmail.com), 'Cidade mais próxima*' (Cruzeiro do Sul), and 'Consumo mensal em kWh*' (125). There is a green question mark icon next to the consumption field. At the bottom, there is a green button labeled 'SIMULAR MEU GERADOR'.

Figura 11: Interface de simulador Portal Solar.

Link - <https://www.portalsolar.com.br/calculo-solar>

A partir da figura 11, o utilizador pode inserir as informações, tais como, o nome, email, consumo mensal, estado e cidade, e obter os resultados de saídas, como apresentados na figura 12, tais como: preço médio do sistema praticado pelo mercado, potência instalada, área mínima necessária, peso médio, número de painéis e a produção anual de energia.

Seu Gerador de Energia Solar



Figura 12: Interface de saída de informações do Simulador Portal Solar.

2.3.3 - Simulador Painéis Solares Worten

Este simulador pertence à empresa Worten do grupo Sonae, onde possibilita os clientes a fazer a simulação do sistema solar fotovoltaica de forma simples. Os clientes podem inserir os seguintes dados de entrada: morada, custo da fatura energética mensal, consumo mensal, opção horária, potência contratada, comercializador de energia atual, etc. A figura 13 mostra a imagem dos campos a serem preenchidos pelo cliente.

Depois de o cliente preencher os dados da entrada, o simulador recomenda saídas como, potência do sistema solar fotovoltaico, número de painéis, potência do inversor, custo total do sistema e poupança anual estimada, como mostra a figura 14.

Simulador Painéis Solares



>



>



Preenche os teus Consumos

Custo da fatura energética mensal* ❶

€

Consumo mensal

Opção horária* ❷

Selecionar

v

Potência contratada (kVA)*

Selecionar

Tipo de instalação*

Comercializador de energia atual

Figura 13: Interface de entrada de dados do cliente, simulador painel solar Worten.

Link: <https://www.worten.pt/servicos/worten>

Worten Recomenda



Solução Quality
SISTEMA DE 400 W
1 painéis - Micro Inversor - 0.40kW

€779,00
ou 32 €/mês 24x s/juros

€127
Poupança anual estimada

ESTOU INTERESSADO

VER DETALHES

Figura 14: interface com dados de saída do simulador painel solar Worten.

2.3.4 - Simulador Solar Impact

Como se pode constatar, existem vários simuladores solares, como descrito no ponto anterior, cada um com as suas especificidades, e desenvolvidos para darem resposta a um determinado país ou cidade com o intuito de utilizar as radiações solares do local específico para realizar a simulação. Para Cabo Verde, algumas empresas como LoboSolar e Repower, têm simuladores que apresentam a localização e a radiação, o problema é que estes são utilizados pelos profissionais e as radiações não vêm especificados por ilha ou região, mas sim apresenta uma única radiação para qualquer ilha/região de Cabo Verde. Assim sendo, este trabalho focará o desenvolvimento de um simulador solar para os sistemas fotovoltaicos em qualquer ponto de Cabo Verde. Em particular, este simulador será desenvolvido para clientes com contrato de compra de energia em Baixa Tensão Nominal (BTN), Baixa Tensão Especial (BTE) e Média Tensão e exclusivamente para sistemas ligados à rede elétrica.

CAPÍTULO 3 – SITUAÇÃO ATUAL DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICO

Neste capítulo vai ser apresentado situação atual de energia solar fotovoltaico à nível mundial e energia solar fotovoltaico em Cabo Verde.

3.1 - Energia Solar Fotovoltaica à Nível Mundial

No final do ano 2020, o total de instalação de sistemas fotovoltaico totalizou 708 GWp. A figura 15, mostra as percentagens global, por região, da capacidade fotovoltaico instalada, incluindo sistema off-grid.

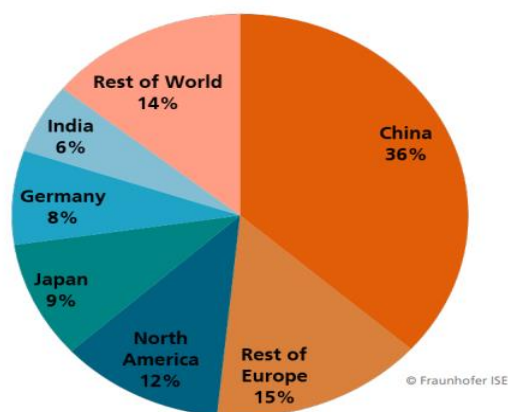


Figura 15: Instalação fotovoltaica cumulativa global por região situada em 2020[11]

A figura mostra que a China liderou a capacidade instalada no ano 2020, com 36 % da capacidade instalada e de seguida foi a Europa com 15 % da capacidade instalada.

A figura 16, mostra a instalação fotovoltaica cumulativa global de 2010 a 2020, onde a Europa liderou a instalação desde 2011 até 2014, mas, a partir de 2015 até 2020, a China liderou a capacidade fotovoltaica instalado.

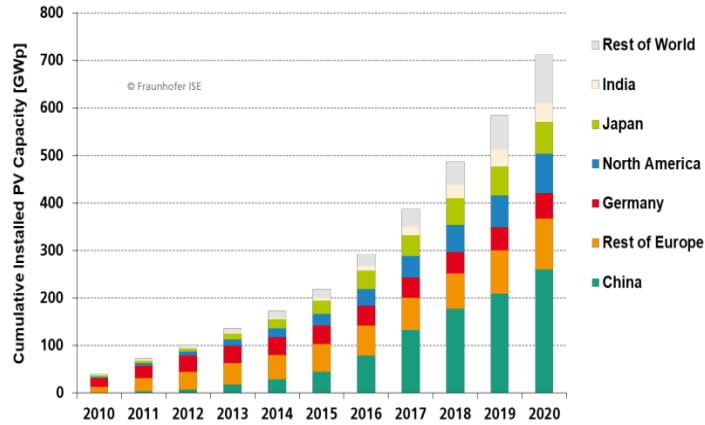


Figura 16: Evolução de energia solar PV instalada no mundo de 2010 a 2020 [11].

Cerca de 82 % da produção de módulos fotovoltaicos foi na Ásia no ano 2010. Aumentando para cerca de 92 % do total da produção mundial no ano 2020, como a figura 17.

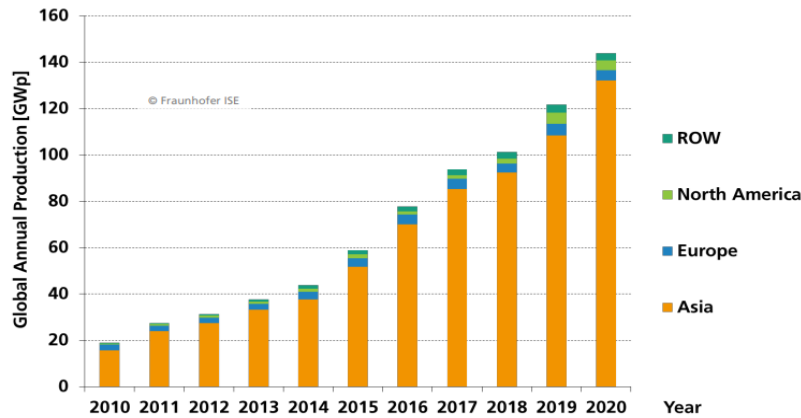


Figura 17: Produção dos módulos fotovoltaicos a nível mundial de 2010 a 2020 [11].

A figura 18 mostra a produção dos módulos fotovoltaicos por região, de 1990 a 2020, em MWp, onde mostra a Ásia como líder da produção mundial.

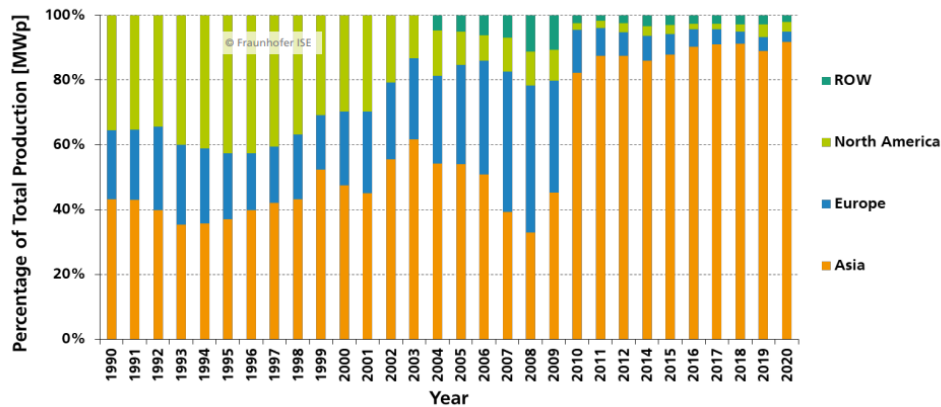


Figura 18: Evolução mundial da produção fotovoltaico em MWp de 1990 a 2020 [11].

O mundo está a adotar energia renovável em um ritmo sem precedentes, e a energia solar está a liderar o caminho.

Apesar da queda de 4,5% na procura global de energia em 2020, as tecnologias de energia renovável mostraram progressos promissores. Embora o crescimento das renováveis tenha sido forte em todo o quadro, a energia solar liderou pela frente com 127 gigawatts instalados em 2020, com a maior expansão anual de capacidade.

O infográfico a seguir utiliza dados da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), para mapear a capacidade de energia solar em alguns países em 2021.

Globalmente, praticamente todos os países (exceto na Antártida) adicionaram mais energia solar ao seu mix energético no ano passado. Na tabela 1 está a capacidade de energia solar em alguns países no início de 2021.

Tabela 1: O Ranking de Energia Solar (link: <https://www.visualcapitalist.com/mapped-solar-power-by-country-in-2021/>)

País	Capacidades instaladas megawatts	Watts*per capita	% do total mundial
China	254,355	147	35.6%
EUA	75,572	231	10.6%
Japão	67,000	498	9.4%
Alemanha	53,783	593	7.5%
Índia	39,211	32	5.5%
Itália	21,600	345	3.0%
Austrália	17,627	637	2.5%
Vietname	16,504	60	2.3%
Coreia do Sul	14,575	217	2.0%
Espanha	14,089	186	2.0%
Total Mundial	713,970	83	100.0%

A China é a líder indiscutível em instalações solares, com mais de 35% da capacidade global. Além disso, o país não mostra sinais de desaceleração.

Com o aumento da procura de energia a nível mundial, o recurso a tecnologias de aproveitamento solar, nomeadamente solar fotovoltaico, deverá manter uma tendência de crescimento. Na tabela 2 apresentam-se os valores da capacidade instalada actualmente e as previsões de crescimento até 2050, por tipo de sistema [11].

Tabela 2 - Capacidade instalada de solar fotovoltaico por sector a nível mundial [11].

Capacidade instalada por sector [GW]	2010	2020	2030	2040	2050
Microprodução residencial	17	118	447	957	1.280
Microprodução comercial	3	22	99	243	404
Produtores de energia elétrica	5	49	223	551	908
Sistemas autónomos	2	21	103	267	463
Total	27	210	872	2.019	3.155

3.2 - Energia Solar em Cabo Verde

As energias renováveis em Cabo Verde, desde há muito tempo que têm sido utilizadas, resultando em casos concretos de diversos tipos de projetos e representando em média aproximadamente cerca de 18% face ao mix energético nacional. Hoje em dia o país conta com larga experiência em energias renováveis, com a instalação de grandes parques solares, parques eólicos, projetos de microgeração em zonas isoladas, unidades de autoconsumo, sistemas de bombagem solar e sistemas de dessalinização solar. Todas estas aplicações tiveram por base as Zonas de Desenvolvimentos de Energias Renováveis (ZDER) identificadas em todo o arquipélago, conforme a tabela 3.

Tabela 3 - Radiação solar das ilhas de Cabo Verde [12].

Ilhas	ZDER's	Radiação Solar anual (kWh/m ² /anual)	Radiação solar dia (kWh/m ² /dia)	Média da Radiação solar dia (kWh/m ² /dia)	Radiação solar a considerar (kWh/m ² /dia)
Santiago	ZDER.ST.8	2071	5.6739	5.6928	5.6928
	ZDER.ST.9	2079	5.6958		
	ZDER.ST.10	2081	5.7014		
	ZDER.ST.11	2078	5.6932		
	ZDER.ST.12	2073	5.6795		
	ZDER.ST.13	2082	5.7041		
	ZDER.ST.14	2086	5.7151		
	ZDER.ST.15	2076	5.6849		
	ZDER.ST.16	2075	5.6849		

São Vicente	ZDER.SV.6	2173	5.9534	5.9534	5.9534
Sal	ZDER.SA.2	2173	5.9534	5.9534	5.9534
Santo Antão	ZDER.SA.4	2175	5.9589	5.9589	5.9589
Fogo	ZDER.FG.3	2099	5.7507	5.7507	5.7507
São Nicolau	ZDER.SN.3	2191	6.0027	5.9836	5.9836
	ZDER.SN.4	2177	5.9644	5.9836	
Boavista	ZDER.BV.2	2183	5.9808	5.9685	5.9685
	ZDER.BV.3	2174	5.9562		
Maio	ZDER.MA.2	2073	5.6794	5.5443	5.5443
	ZDER.MA.3	1928	5.2822		
	ZDER.MA.4	2070	5.6712		
Brava	ZDER.BR.2	2102	5.7589	5.7589	5.7589

Entretanto, a radiação solar de cada ZDER, foi estabelecida com base na latitude das referidas localidades, e é com base nisso é que se define o ângulo de inclinação dos painéis solares. Devido à distância relativamente próxima entre as ilhas optou-se por aplicar a mesma latitude da ilha de São Vicente, às ilhas de Barlavento: Santo Antão, São Nicolau, Boavista e Sal. Enquanto para as ilhas de Sotavento, optou-se que as ilhas Maio, Fogo, e Brava tivessem a mesma latitude da ilha de Santiago, conforme se ilustra na Tabela 4.

Tabela 4 - Latitude da cidade da Praia e do Mindelo [12].

Local	Latitude (°)
Praia (Santiago)	14.9
Mindelo (São Vicente)	16.8

Para a simulação, vai-se adotar as latitudes de 15° e 17° para inclinação dos painéis, para as ilhas localizadas no Sotavento e no Barlavento respetivamente.

As duas ilhas estabelecidas como referência das demais ilhas apresentam níveis de radiação global entre 2.070 kWh/m²/ano e 2.175 kWh/m²/ano, assumindo-se um valor indicativo de 2.130 kWh/m²/ano, o que equivale a uma média diária de 5,8 horas (horas equivalentes a 1.000 W/m²) [12]. A figura 19 representa a radiação global (kWh/m²) em Cabo Verde.

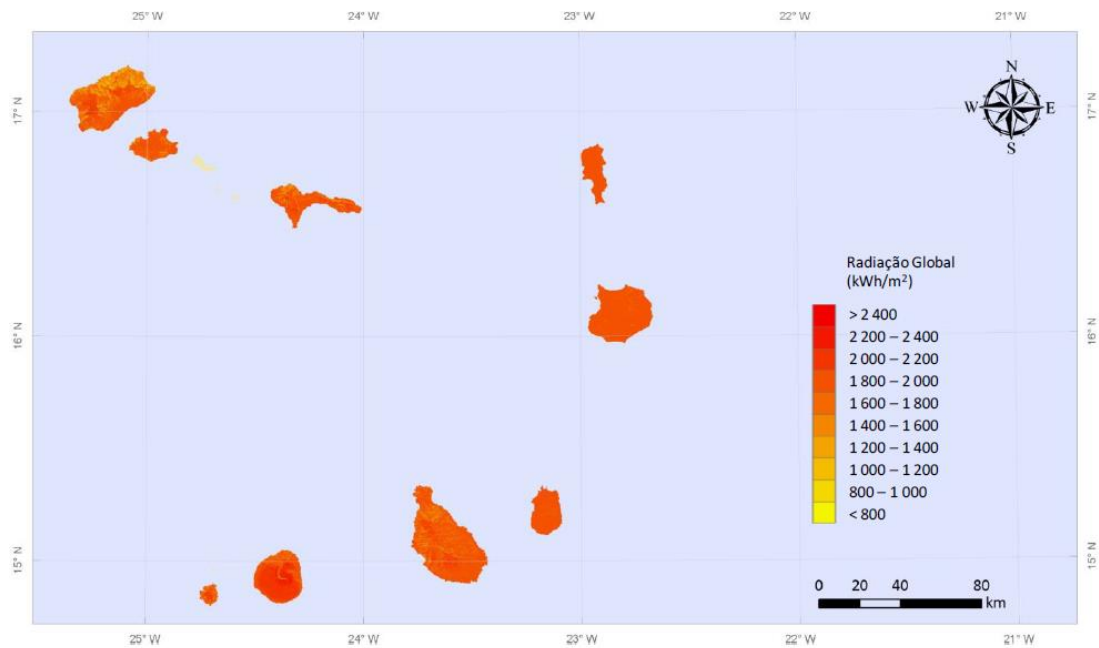


Figura 19 - Radiação solar em Cabo Verde [12].

A figura 20 representa a produção fotovoltaica, de um sistema de 1 kWp, tendo em conta a média diária de sol em Cabo Verde, onde mostra uma produção de 5kWh/dia com o pico de consumo de aproximadamente 0,82 kW.

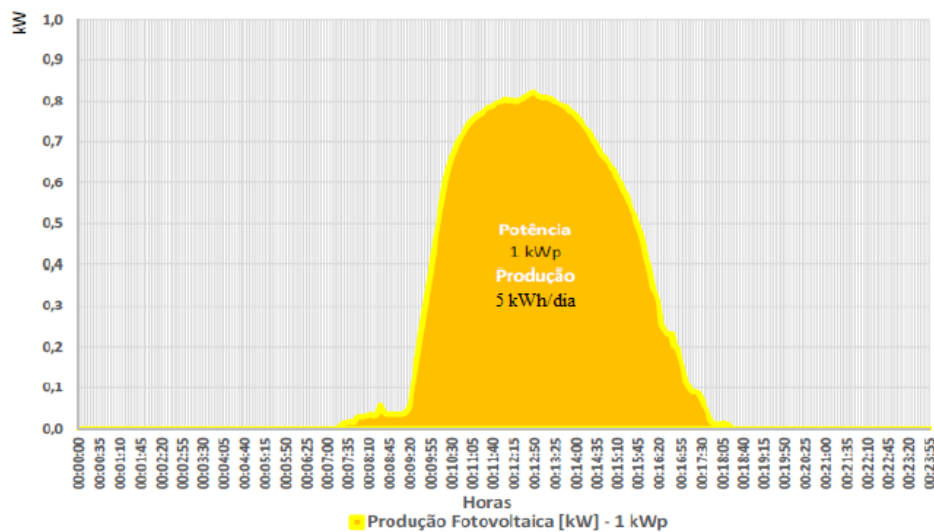


Figura 20 - Produção solar fotovoltaica estimada para 1 kWp [12].

3.2.1 - O Parque Solar

Cabo Verde é um país rico em fontes renováveis, apresenta uma potência de capacidade instalada superior a 2.600 MW de energias renováveis com principal foco em recursos solares, com potencial de 2.068 MW associado a identificação das ZDER's, como referido atrás, os recursos eólicos apresentam potencial de 306 MW. Os recursos hidráulicos, biomassas,

geotérmica e energias das ondas apresentam um total de 308 MW [12]. O gráfico 4 mostra o potencial de energias renováveis existentes em Cabo Verde.

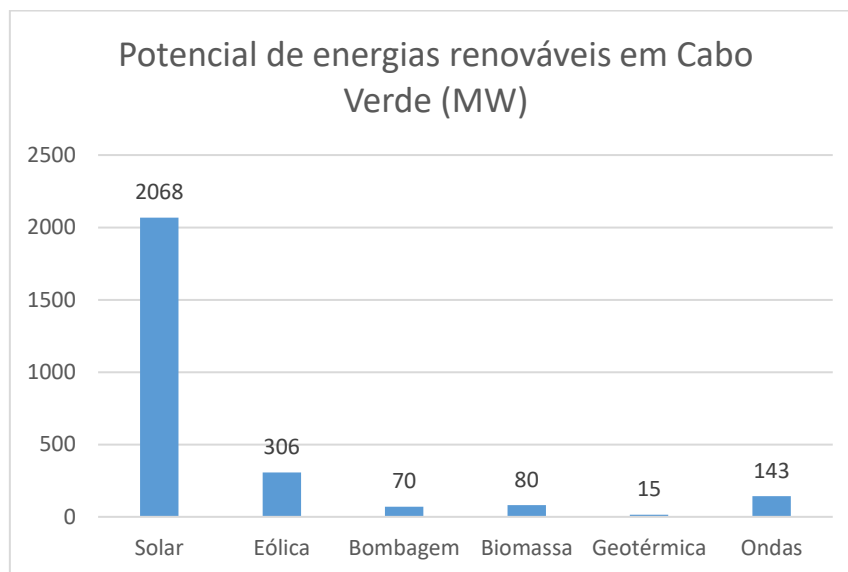


Gráfico 1 - Potencial de energias renováveis em Cabo Verde [12].

Cabo Verde tem instalado dois parques solares fotovoltaicos, um na ilha do Sal e outro na ilha de Santiago. O parque solar fotovoltaico da ilha de Santiago fica instalado na cidade da Praia, como ilustrada na figura 21.



Figura 21 - Parque fotovoltaico na ilha de Santiago [13].

A central solar do Palmarejo tem uma potência instalada de 4,45 MWp, e a produção durante o ano de 2017 foi de aproximadamente 4.132 MWh [14]. O parque é constituído por um total de 19.512 módulos solares do tipo MTS225P (8.568 unidades) e MTS230P (10.944 unidades), ocupando uma área de 13 hectares. A nível de conversão, o parque é constituído por 7 inversores de alta eficiência (~97%), sendo 1 inversor de 500 kW e 6 inversores de 630 kW. A

central foi construída pela empresa portuguesa Martifer, e entrou em funcionamento a 1 de Novembro de 2010.

A figura 22 representa o parque solar instalado na ilha do Sal. A central da ilha de Sal está situada na cidade de Santa Maria, tem uma potência instalada de 2,23 MWp, e a produção durante o ano de 2017 foi de aproximadamente 2.416 MWh [14].



Figura 22 - Parque fotovoltaico na ilha do Sal [14].

O parque é constituído por um total de 9.912 módulos solar do tipo MTS225P, cobrindo uma área de 8 hectares. A nível de conversão, o parque é constituído por 4 inversores de alta eficiência (~97%), sendo 1 inversor de 250 kW e 3 inversores de 630 kW. A central também foi construída pela empresa portuguesa Martifer, e entrou em funcionamento a 1 de Outubro de 2010.

3.2.2 - O Sistema Isolado

O Governo continua a apostar em sistemas isolados (micro-redes) em localidades com difícil acesso à eletricidade, nomeadamente, os casos de Vale da Costa (São Domingos, ilha de Santiago), Cariçal (São Nicolau) e Tarrafal/Monte Trigo (Santo Antão). Para além de inúmeros projetos em sistemas de bombagem solar e Dessalinização, que recorrem a energia solar isolado. Entretanto dos três sistemas de micro-redes isolados destaca-se o caso de Tarrafal de Monte Trigo, que foi o primeiro a ser instalado, e o que até então tem tido maior impacto na comunidade. A localidade de Monte Trigo na ilha de Santo Antão, Cabo Verde dispõe de eletricidade intermitente gerada a partir por micro-centrais que funcionam, em média, 5 a 7 horas por dia. No âmbito do projeto SESAM-ER (Serviço Energético Sustentável para Povoações Rurais Isoladas mediante Micro-Redes com Energias Renováveis), foi projetada uma central fotovoltaica para Monte Trigo, devido ao elevado grau de radiação solar, confirmado após um período de medição no local, e um linha de transporte de energia elétrica de Chã de Manuel Lopes até Tarrafal (projeto alternativo a Micro-Hídrica projetada

inicialmente para Tarrafal), passando ambas localidades a dispor de energia elétrica 24 horas por dia, contribuindo assim para uma melhoria na qualidade de vida dos seus habitantes. A central fotovoltaica está projetada com 210 módulos fotovoltaicos, localizados no átrio da Escola Primária nº8 de Monte Trigo e com uma potência nominal de 27,3 kWp. Os 210 módulos fotovoltaicos apoiados numa estrutura de madeira, que contorna o pátio da escola, abrigando-o do sol e conformando um novo espaço social para a comunidade. A energia elétrica produzida desde a radiação solar destina-se ao uso direto e para o carregamento das 48 baterias para armazenamento da eletricidade produzida unicamente no período diurno. Deste modo, as baterias permitem satisfazer o consumo de energia durante a noite e em períodos de menor radiação.

Segue algumas características técnicas da Central Fotovoltaica de Monte Trigo, conforme se pode ver pela tabela 5.

Tabela 5 - Características técnicas da Central Fotovoltaica de Monte Trigo [15].

Potência instalada	27,3 kWp
Geração	210 painéis fotovoltaicos com 130 kWp cada
Área captação energia	214,6 m ²
Acumulação	48 baterias com 3 dias de autonomia

A central fotovoltaica de Monte Trigo tem a capacidade para produzir até 200 kWh no período solar, enquanto o consumo da rede é de 100 kWh, com capacidade de armazenamento para assegurar o abastecimento mesmo nos períodos sem disponibilidade de energia solar [15]. A configuração do sistema de Monte Trigo, está representado na figura 23.

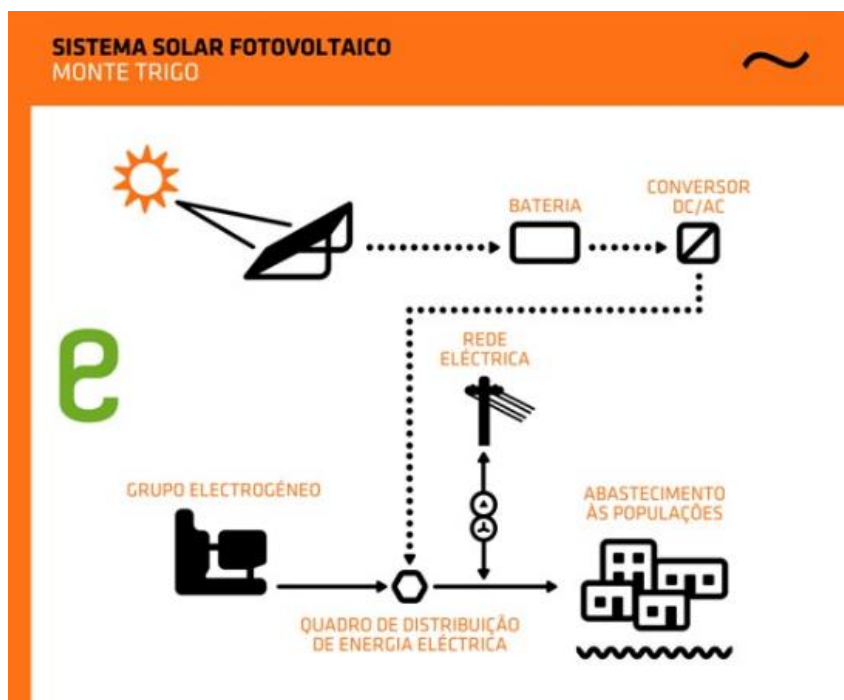


Figura 23 - Sistema solar de Monte Trigo [15].

A aldeia de Vale da Costa, na ilha de Santiago, foi a segunda localidade em Cabo Verde eletrificada a 100% através de uma micro-rede abastecida por uma central híbrida solar-eólica. O sistema de geração (com um total de 65,86 kWp) é composto por um grupo gerador, um parque fotovoltaico, um parque eólico e um sistema de armazenamento (baterias). O parque eólico tem uma potência instalada de 10,5 kWp com três aerogeradores de 3,5 kWp, enquanto o parque fotovoltaico tem uma capacidade instalada de 20,16 kWp e é composto por 84 painéis de 240 Wp [15]. De momento, após a eletrificação da localidade, o sistema ficou inativo, ou seja, está inoperacional.

3.2.3 - A Microgeração

O Governo de Cabo Verde tem um ambicioso plano para as energias renováveis e pretende impulsionar a microgeração a nível das famílias, pequenas indústrias e comércio. A microgeração constitui parte da estratégia nacional para que em 2030 o país tenha 50% de taxa de penetração de energias renováveis. A participação da sociedade civil e das empresas cabo-verdianas é imprescindível para o aumento da taxa de penetração de energias renováveis. Desta forma, foi criada o Decreto Lei nº 1 de 2011, que estabelece as disposições relativas à promoção, ao incentivo e ao acesso, licenciamento e exploração inerentes ao exercício da atividade de produção independente e de auto-produção de energia elétrica com base em fontes de energia renováveis [16].

A atividade de produção de energia elétrica com base em fontes de energia renováveis pode ser exercida com base em 3 (três) regimes, cujos termos são estabelecidos no presente diploma:

- a) Regime Geral – aplicável à produção independente e auto-produção com base em fontes de origem renovável não previstas nos restantes regimes;
- b) Regime para microprodução – aplicável à auto-produção com base em fontes de origem renovável e potência de ligação até 100 kVA;
- c) Regime simplificado para eletrificação rural descentralizada.

O regime b), é o regime que irá ser abordado com maior detalhe, uma vez que servirá de suporte para a massificação de energias renováveis junto das famílias e é o que se enquadra no simulador a ser desenvolvido, e de onde se destaca dois artigos, o 23º (Regime remuneratório específico aplicável à microprodução) e o 57º (Refere –se as instalações de microprodução).

O Artigo 23.º, refere:

1. A tarifa de venda de eletricidade aplicável à microprodução é igual ao custo da energia para o consumidor segundo o tarifário aplicável à instalação de consumo pela concessionária de distribuição de energia elétrica.
2. *O produtor não tem direito a vender, num determinado período, mais energia do que a consumida nesse mesmo período.*

O Artigo 57.º, refere:

1. *As instalações de microprodução renovável carecem de registo prévio à instalação no Sistema de Registos de Auto-produção (SRA).*
2. *Podem registar-se como produtores de eletricidade por intermédio de unidades de microprodução todas as entidades que disponham de um contracto de compra de eletricidade.*
3. *A unidade de auto-produção deve ser integrada no local da instalação elétrica de utilização e não pode ter uma potência de ligação à rede superior ao menor dos seguintes valores:*
 - a) 100 kW;
 - b) 85% (oitenta e cinco por cento) do consumo anual em kWh /1800; e
 - c) 25% (vinte e cinco por cento) da potência máxima de consumo em kW [16].

Entretanto, este DL, sofreu a terceira actualização com a publicação do DL nº 54/2018, com alguns ajuste e melhorias do anterior DL, onde os Artigos 23.º e 57.º, passaram a ter a seguinte redacção, conforme os novos artigos 23 e 57 respectivamente.

O Artigo 23.º

Para Sistemas de Micro-produção com potência total instalada superior a 400 W, a tarifa de venda de electricidade à rede nos momentos em que se registre um excedente de energia produzida face à energia consumida é igual ao custo evitado de produção térmica do Sistema Elétrico Nacional, anualmente publicado pela Agência de Regulação Económica

O Artigo 57.º

- 1. As instalações de micro-produção com uma potência total instalada inferior ou igual a 400 W não carecem de qualquer autorização prévia para a sua instalação desde que sejam utilizados equipamentos certificados e instalados acreditados, necessitando apenas de um registo no Sistema de Registo de Micro-produção (SRM).*
- 2. As instalações de micro-produção renovável com mais de 400 W de potência instalada carecem de registo prévio à instalação no SRM.*
- 3. Podem registar-se como produtores de electricidade por intermédio de unidades de microprodução todas as entidades que disponham de um contracto de compra de electricidade.*
- 4. A unidade de micro-produção com potência instalada de mais de 400 W deve ser integrada no local da instalação eléctrica de utilização, respeitando os seguintes critérios:*
 - a) Ter uma potência de ligação á rede igual ou inferior a 100 kW;*
 - b) Produzir anualmente um valor igual ou inferior a 100 % (cem por cento) do consumo anual em kWh [17].*

A actualização do DL vai permitir redução da fatura energética em pelo menos 25%, indo de encontro as metas estabelecidas pelo Programa do Governo (PG) da IX Legislatura, ao Plano Nacional de Sustentabilidade Energética (PNSE) e ao Programa Estratégico de Desenvolvimento Sustentável (PEDS), todos promovendo as energias renováveis, de modo a que o país beneficie das excelentes potencialidades que possui nos domínios da energia solar, com condições de financiamento e incentivos.

Assim torna-se fundamental que a sociedade civil (as famílias), tenham conhecimento sobre novas formas de financiamento junto da banca e a actualização do DL nº1 de 2011. Isso poderá

permitir a massificação de uso de fontes renováveis, com foco em auto-produção, uma vez que o DL fala na compensação do valor de excedente de energia injetada pelo micro-produtor, através da dedução direta na fatura de eletricidade. Isto vai fazer com que cada vez mais famílias se interessem pela aposta em energias renováveis, aumentando a oferta na procura.

Desta forma faz sentido que haja um meio auxiliar que suporte os mais leigos nas matérias, e sobretudo os apoie em determinar alguns valores de referência, tais como, a potência do campo solar, número de painéis necessário, a potência do inversor, o custo estimado do sistema, entre outros, antes do primeiro contrato com qualquer empresa que forneça o serviço de fornecimento e instalação de sistemas fotovoltaicos.

3.2.4 - Escalões de Eletricidade

“Baixa tensão é um termo em engenharia elétrica utilizado para identificar as considerações de segurança de sistema de geração, distribuição e utilização de energia elétrica baseado no valor de tensão elétrica utilizado. Apesar das diferentes faixas de tensão utilizadas para definir a baixa tensão, ela é geralmente caracterizada por carregar um risco substancial de choque elétrico, mas um risco menor de arco elétrico no ar” [19].

Segundo a Norma IEC 61643 do Comissão Electrotécnica Internacional define-se os níveis de tensão como indicados na Tabela 6.

Tabela 6 – Classificação dos níveis de tensão [19].

Designação	Sigla	Níveis de tensão
Tensão reduzida de segurança	TRS	0 – 50 V
Baixa Tensão	BT	50 – 1000 V
Média Tensão	MT	1000 V – 45 kV
Alta Tensão	AT	45 – 110 kV
Muito Alta Tensão	MAT	> 110 kV

Para fornecer ou receber energia elétrica torna-se necessário fazer uma ligação à rede elétrica de distribuição pública em baixa, média ou alta tensão, e esta deverá ser solicitado ao distribuidor de energia mediante um contrato de fornecimento de eletricidade [5].

Em Cabo Verde existem diferentes escalões de potência na concessionária local, onde o cliente deverá optar pelo escalão que melhor se adequa às suas necessidades. Os valores de potência para o contrato de fornecimento de eletricidade de acordo com tipo de contrato são as seguintes:

- **Baixa Tensão Normal (BTN)**, para potências contratadas iguais ou inferiores a 41,4 kVA e uma potência mínima contratada de 1,15 kVA. Destina-se a clientes residenciais, lojas, escritórios e pequenas empresas, alimentadas ao nível de tensão 230/400 V [19].
- **Baixa Tensão Especial (BTE)**, para potências contratadas superiores a 41,4 kVA, aplicável a consumidores de energia elétrica em Baixa Tensão para produção de força motriz e outras utilizações industriais em fábricas, oficinas e instalações congéneres (funcionamento regular) [19].
- **Média Tensão (MT)**, para casos em que a tensão entre fases cujo valor eficaz é superior a 1 kV e igual ou inferior a 45 kV. Destina-se a grandes clientes industriais, hospitais, portos e aeroportos, entre outros [19].

3.2.5 - Tarifas eletricidade

Os tarifários de eletricidade são o conjunto de valores unitários ou fixos (taxas) com base nos quais a empresa fatura mensalmente aos clientes a eletricidade consumida no mês antecedente, seguindo regras pré-definidas pelo Governo.

O Orçamento de Estado para 2013, aprovado pela Lei n.º 23/VIII/2013 de 31 de Dezembro altera no artigo 32º, a base de incidência do IVA para energia elétrica e água passando a taxa do IVA a incidir sobre 100% do valor tributável. Ao abrigo do disposto no n.º 11º do Decreto-Lei n.º 27/03 de 25 de Agosto, a Agência de Regulação Económica procedeu à adequação das componentes variáveis das tarifas de eletricidade e taxas a praticar pela concessionária Electra S.A, conforme a nova base de incidência do IVA (15%), de acordo com a tabela 7, a vigorar desde 20/03/2019 [20].

Tabela 7 – Tarifa de eletricidade praticada pela Electra [20].

Tarifa Eletricidade	Taxa com IVA
Baixa tensão com escalão maior que 60 kWh/mês	36,19
Baixa tensão especial, Escalão único	31,76
Média tensão, Escalão única	26,79

O desenvolvimento do trabalho será feito exclusivamente para clientes com contracto em BTN, BTE e MT conforme será apresentado nos próximos capítulos.

CAPÍTULO 4 – DESCRIÇÃO DAS FERRAMENTAS UTILIZADAS PARA DESENVOLVER O SIMULADOR

Para o desenvolvimento do Simulador foi utilizada a linguagem de programação Java e para explicar os procedimentos utilizados foi utilizado software Astah UML, os quais vão ser descritos a seguir. Para o dimensionamento foram utilizadas as radiações solares das 21 zonas de desenvolvimento de energias renováveis nas ilhas de Cabo Verde e algumas fórmulas para o dimensionamento de sistemas solar fotovoltaico ligado à rede elétrica, também descritos logo a seguir.

4.1 - Linguagem Java

Java é uma linguagem de programação orientada a objetos, anunciada pela empresa Sun em Maio de 1995, sendo mantida atualmente pela empresa Oracle Corporation. Uma aplicação escrita na linguagem Java é compilada para um código intermédio e interpretado pelas máquinas virtuais existentes para cada plataforma. Um programador quando escreve uma aplicação pode utilizar uma grande quantidade de classes e métodos existentes na biblioteca Java [21].

Um programa escrito em Java pode ser editado num editor de texto simples ou num ambiente de desenvolvimento integrado, posteriormente guardado num ficheiro com extensão java e a compilação pode ser feita recorrendo ao compilador Javac da Sun ou num ambiente do tipo visual. Para a execução de uma aplicação Java é necessário criar uma classe que contenha um método main () que é o ponto de entrada da aplicação. Os ambientes de desenvolvimento mais utilizados são Eclipse e NetBeans [21].

4.1.1 - Ambiente de Desenvolvimento

Os ambientes de desenvolvimento permitem desenvolver programas complexos, oferecendo uma grande quantidade de ferramentas, incluindo editores para escrever e editar programas, ferramentas gráficas para criar interfaces do utilizador e debuggers para localizar erros lógicos no programa. Os ambientes mais utilizados são o Eclipse e o NetBeans [21]. Neste trabalho foi utilizado a linguagem de programação Java, com o Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) NetBeans, para desenvolver a interface gráfica do Simulador.

4.1.2 - Kit de Desenvolvimento de Java

O Kit de Desenvolvimento de Java é constituído por programas englobando compilador, interpretador e utilitários [21].

Os principais componentes do Kit de desenvolvimento Java são:

- Javac (compilador);
- Java (interpretador);
- Appletviewer (visualizador de *applets*);
- Javadoc (gerador de documentação);
- Jar (programa de compactação);

4.1.3 - Interface Gráfica com o Utilizador

A interface gráfica com o utilizador trata-se de técnicas de design e usabilidade voltadas para a interação entre homens e máquina, por meio de softwares, sistemas ou aplicações, em que o utilizador possa realizar as suas tarefas.

Os utilizadores podem enviar mensagens para as programas da aplicação e também podem receber e interpretar mensagens provenientes da aplicação [21].

4.1.4 - Pacotes de Trabalho em Java Netbeans

Um Pacote de trabalho em Java é um mecanismo para organizar as classes em espaços de nomes, de modo a facilitar a resolução de conflitos entre nomes de classes (ou seja, é como se fosse um sobrenome para classes). Além disso, os pacotes podem ser armazenados e compactados em arquivos com a extensão JAR, permitindo que a transmissão das classes agrupadas seja mais rápida e prática do que cada uma individualmente. Os programadores normalmente também usam pacotes para organizar as classes que pertencem à mesma categoria ou que oferecem funcionalidades semelhantes [21].

4.1.5 - Classes em Java Netbeans

Uma **classe** é uma descrição que abstrai um conjunto de objetos com características similares. Mais formalmente, uma classe é um grupo de objetos que possuem propriedades comuns [21].

Classe JFrame e a Paleta dos Componentes - para desenvolvimento de interface gráfica com o utilizador – GUI (*Graphical User Interface*), ou seja, para a janela principal do Simulador

foi necessário aceder ao formulário *JFrame*, que é uma das classes de Java, que por meio desta é possível criar telas e nos dá acesso ao **código fonte** (onde foi possível desenvolver a ação para cada componente da tela principal). A **Paleta dos Componentes** é uma janela onde se encontram disponíveis todos os componentes necessários para representar a Tela, possibilitando também as propriedades de cada componente, permitindo a configuração dos mesmos. Os componentes da paleta usado em janelas são programados de modo que à medida que o utilizador interage com elas, elas reagem aos eventos. A figura 24 mostra a janela da classe JFrame onde é possível criar telas.

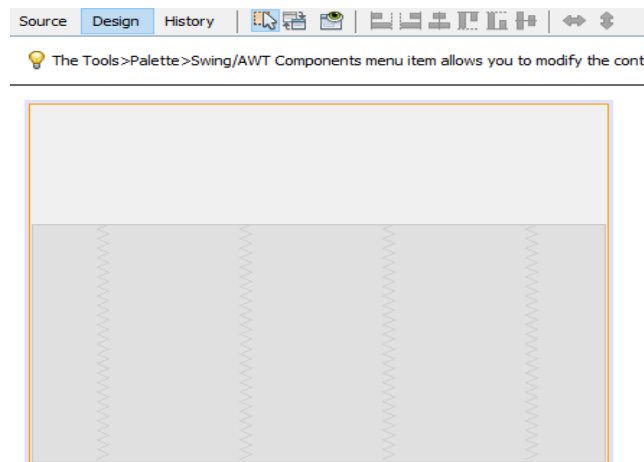


Figura 24 - Ilustração da janela JFrame.

A figura 25, mostra a janela de paletes de componentes onde é possível ter acesso a cada uma das componentes da tela e as suas propriedades.

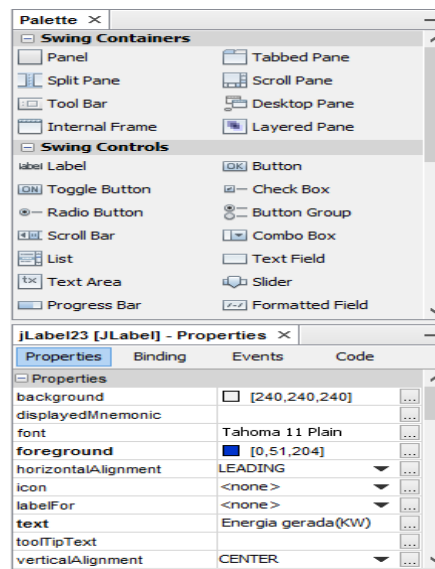


Figura 25 - Ilustração da janela de paletes dos componentes e suas propriedades.

4.2 - Descrição dos Componentes utilizados em janela JFrame

Para construção deste Simulador foi utilizado os seguintes componentes:

- JButton;
- JLabel;
- JRadioButton;
- JSeparator;
- JTextField;
- JScrollPane;
- JPanel;
- JComboBox;
- ButtonGroup.

4.2.1 - Descrição do componente JButton

O JButton é um componente que permite a criação de formulários, onde são utilizados botões para acionar ações dentro do formulário criado [22]. A figura 26 mostra esquema deste botão.

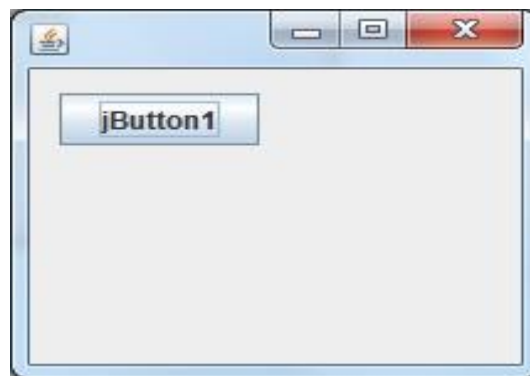


Figura 26 - Esquema de botão JButton [22].

4.2.2 - Descrição do componente JLabel

O JLabel é um componente muito utilizado em Java para a criação de formulários onde é necessário a inserção de textos ou imagens. A inserção desse componente no Netbeans é possível após a criação de um novo JPanel ou JFrame, através da opção rótulo na janela de componente. Após a inserção desse componente no netbeans é necessário trocar o nome desse componente para ficar fácil de localizá-lo quando se escreve código. Uma boa prática de programação é utilizar o nome do componente e acrescentar ao final o nome do conteúdo que irá guardar no formulário [22]. A figura 27 mostra esquema deste componente.

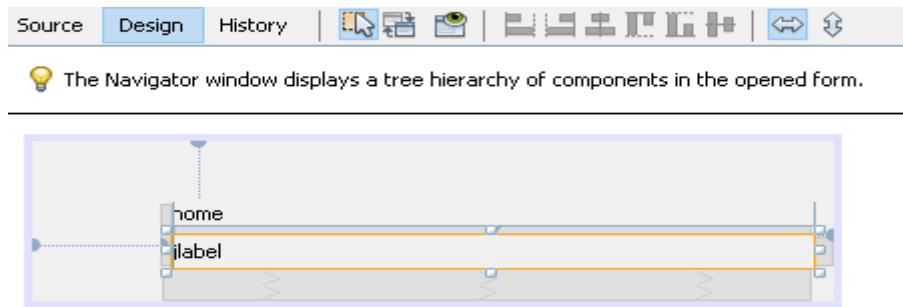


Figura 27 - Esquema de JLabel [23].

4.2.3 - Descrição do componente JRadioButton

O JRadioButton é um componente muito utilizado em Java para a criação de formulários onde é necessário a seleção de uma opção. Indicado para a utilização de respostas onde possa ser sim ou não, masculino ou feminino entre outros. Não é muito indicado para mais de 3 opções porque acaba por se tornar uma poluição visual, deixando o utilizador a quer seleccionar mais de uma opção. A inserção desse componente no Netbeans é possível após a criação de um novo JPanel ou JFrame, através da opção JRadioButton na janela de componente [22]. A figura 28 mostra esquema deste componente.



Figura 28 - Esquema de JRadioButton [23].

4.2.4 - Descrição do componente JSeparator

JSeparator fornece um componente de uso geral para a implementação de linhas divisórias – mais comumente usado como um divisor entre os itens de menu que os divide em grupos lógicos [22]. A figura 36 mostra esquema deste componente.

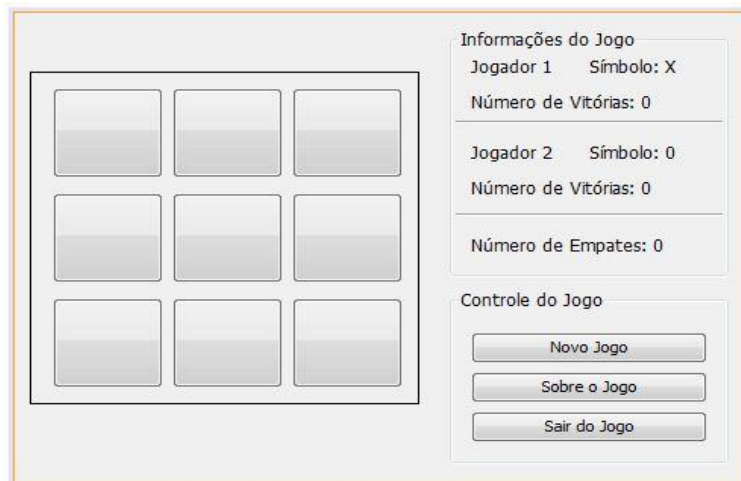


Figura 29 - Esquema de JSeparator [23].

4.2.5 - Descrição do componente JTextField

O **JTextField** é um componente utilizado em Java para a criação de formulários onde é possível a inserção dos dados pelo teclado [22]. A figura 30 mostra esquemas deste componente.

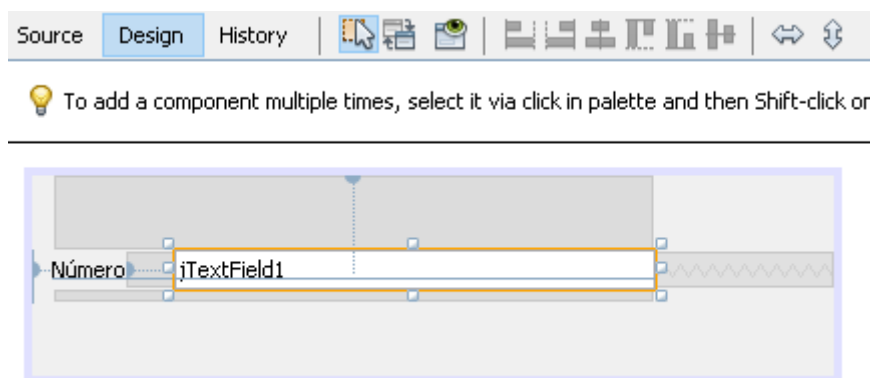


Figura 30 - Esquema de JTextField [23].

4.2.6 - Descrição do componente JScrollPane

JScrollPane fornece uma exibição deslocável de um componente. Quando o espaço real da tela é limitado, usa um painel de deslocamento para exibir um componente que seja grande ou um cujo tamanho possa mudar dinamicamente. Outros conteúdos usados para economizar espaço na tela incluem painéis divididos e painéis com guias [22]. A figura 31 mostra esquema deste componente.

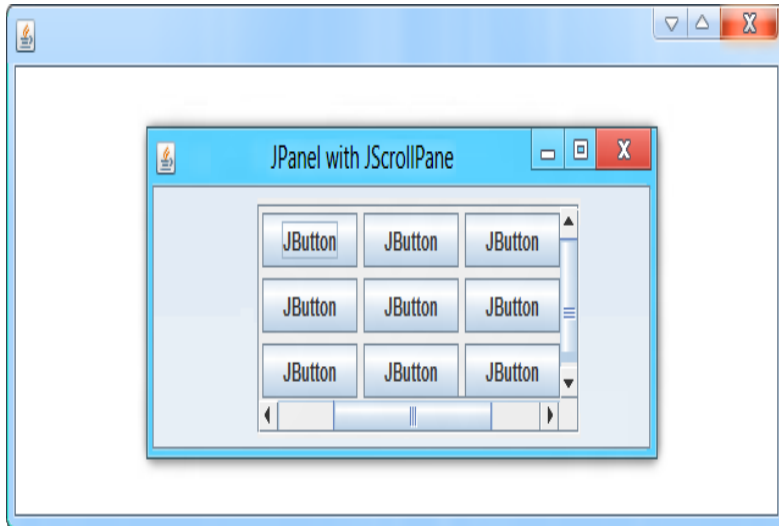


Figura 31 - Esquema de JScrollPane [23].

4.2.7 - Descrição do componente JPanel

JPanel fornece conteúdos de uso geral para componentes leves. Por padrão, os painéis não adicionam cores a nada, exceto ao próprio plano de fundo; no entanto, pode-se facilmente adicionar bordas e personalizar a pintura [22]. A figura 32 mostra este componente.

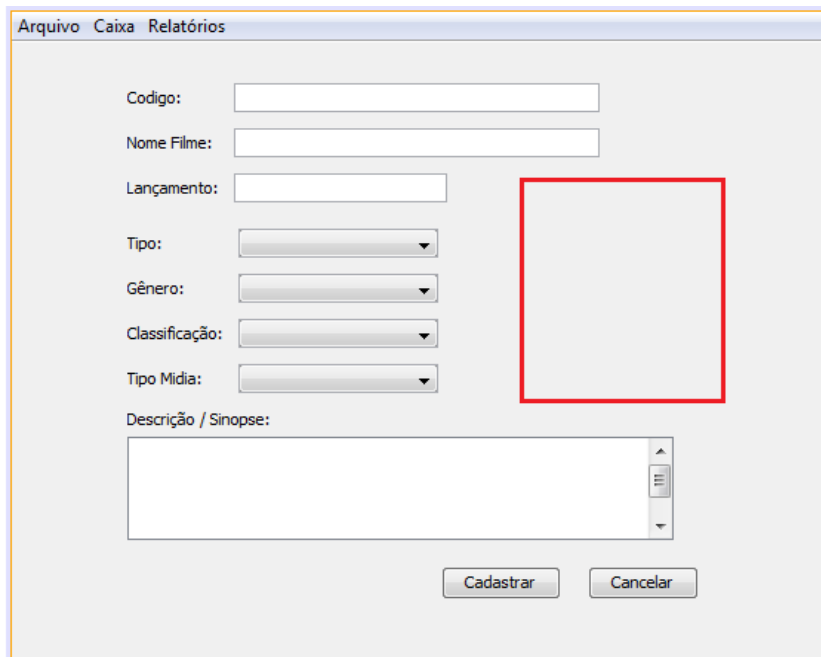


Figura 32 - Esquema de JPanel [23].

Em muitos tipos de aparência, os painéis são opacos por padrão. Os painéis opacos funcionam bem como painéis de conteúdo e podem ajudar na pintura de maneira eficiente, conforme descrito em Usando recipientes de nível superior [22].

4.2.8 - Descrição do componente JComboBox

JComboBox permite ao utilizador escolher uma de entres várias opções, e pode ter duas formas muito diferentes. O formulário padrão é a caixa de combinação não editável, que apresenta um botão e uma lista suspensa de valores. O segundo formulário, chamado de caixa de combinação editável, apresenta um campo de texto com um pequeno botão adjacente a ele [22]. A figura 33 mostra este componente.

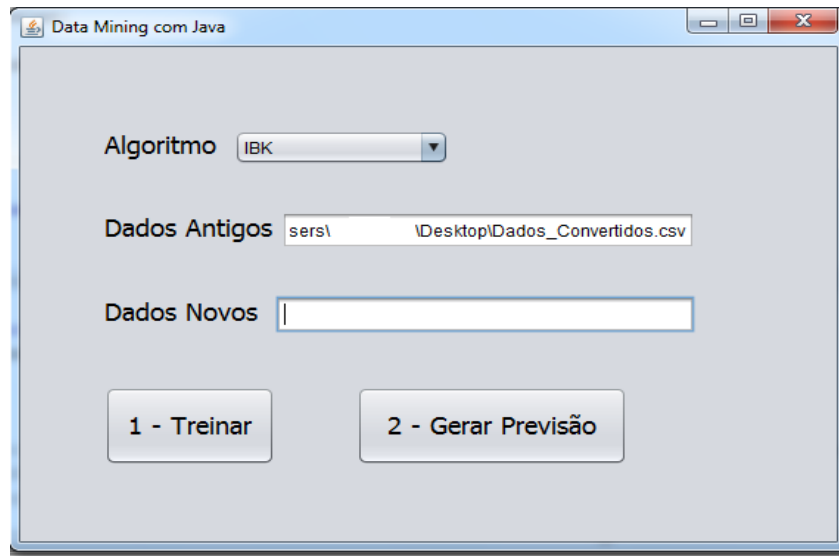


Figura 33 - Esquema de JComboBox [23].

4.2.9 Descrição do componente ButtonGroup

Este componente é usado para criar um escopo de exclusão múltipla para um conjunto de botões. Criar um conjunto de botões com o mesmo objeto ButtonGroup significa que a ativação de um desses botões desativa todos os outros botões do grupo. Um ButtonGroup pode ser usado com qualquer conjunto de objetos herdados do AbstractButton [22], conforme se ilustra na figura 34.

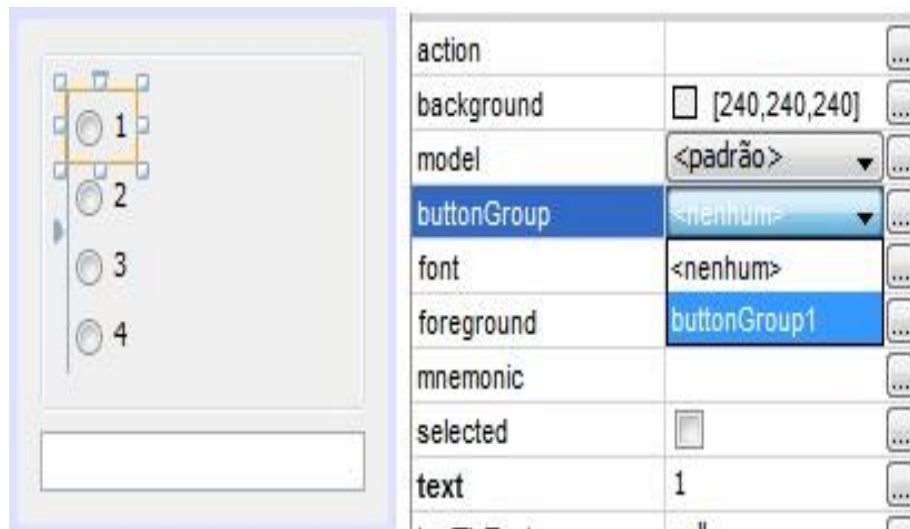


Figura 34 - Esquema de ButtonGroup [23].

4.3 Linguagem de Modelação UML

A Modelação é a projecção de uma aplicação antes da sua codificação. Os principais benefícios da modelação de um sistema são:

- Facilita a criação de um sistema com maior escalabilidade, segurança e robustez;
- Permite um programador encontrar e fixar com maior rapidez os erros nos códigos, principalmente se este for escrito por outra pessoa;
- A visão do projeto permite gerir melhor a sua complexidade, o que facilita a reutilização dos códigos;
- Diagramas de estrutura: representam a estrutura estática de um sistema. São exemplos os diagramas de classe, os de objeto e os de composição;
- Diagramas de comportamento: representam o comportamento geral de um sistema. São exemplos os diagramas de casos de utilização, os de atividades e os de estado;
- Diagramas de interação: representam a interação entre os diferentes elementos de um sistema. São exemplos os diagramas de sequência, comunicação e os de iteração;

Neste projeto foi utilizado diagrama de estrutura, ou seja, classe, diagrama de comportamento (atividades) e de interacção no qual vai ser apresentado mais à frente no capítulo seguinte.

A UML é uma linguagem que utiliza uma notação padrão para especificar, construir, visualizar e documentar sistemas de informação orientado por objetos. Pela sua abrangência e simplicidades dos conceitos utilizados, a UML facilita no desenvolvimento de um sistema de

informação. A modelação UML baseia-se no conceito de diagramas. Os diagramas UML são representados graficamente por meio de figuras geométricas e relações entre os mesmos [24]. Existem vários softwares com ambientes gráficos para modelação UML, disponibilizando todos os elementos descritos acima. Neste projeto será utilizado Astah UML, que além de possuir uma versão gratuita, pode ser instalada em qualquer plataforma devido ao facto do seu código ser totalmente programado na linguagem Java.

CAPITULO 5 – DESENVOLVIMENTO DO SIMULADOR

5.1 - Desenvolvimento

Neste capítulo irão ser descritos os procedimentos utilizados para a criação do simulador solar fotovoltaico. O simulador em si é constituído por sete telas de interface com o utilizador. A primeira interface é a da janela principal, onde o utilizador pode escolher o tipo de sistema (BTN, BTE ou MT) e as outras seis são de simulação com o consumo diário e consumo durante período solar, para cada um dos sistemas.

Para o desenvolvimento do simulador fotovoltaico, foram considerados alguns requisitos para descrever o comportamento do mesmo, denominados de requisitos funcionais e não funcionais, indicados abaixo.

5.2 - Requisitos Funcionais

Os requisitos indicados abaixo, dizem respeito às funcionalidades básicas que o sistema é capaz de realizar:

- O simulador deve ser capaz de reagir aos eventos do utilizador, como exemplo, quanto o utilizador preencher os dados de entrada na primeira interface como: escolha de tipos de clientes e de tipo de simulação que deseja realizar;
- A tela principal do simulador deve realizar o processo de chamar a nova tela quando o utilizador solicitar os tipos de simulação que deseja realizar;
- As seis telas de simulação depois de serem chamadas devem ser capazes de realizar as operações de cálculo depois das entradas, como energias consumidas, escolha das ilhas e dos módulos fotovoltaico.

5.3 - Requisitos não Funcionais

Estes requisitos estão relacionados com as características qualitativas do simulador, descrevendo a qualidade com que o simulador deverá fornecer os requisitos funcionais, mencionados anteriormente.

- O simulador deve ser simples para o utilizador;
- O simulador deve realizar as operações solicitadas pelo utilizador como cálculo de forma rápido e correto;

- O simulador deve ser seguro.

O simulador em si encontra-se dividido por sete partes: a primeira que corresponde à janela principal do simulador onde o utilizador entra em primeiro contrato com o simulador, que através dela pode ter acesso às outras seis telas onde vai ser explicado mais à frente. A figura 35 mostra um pequeno diagrama de interação entre o utilizador e o Simulador.

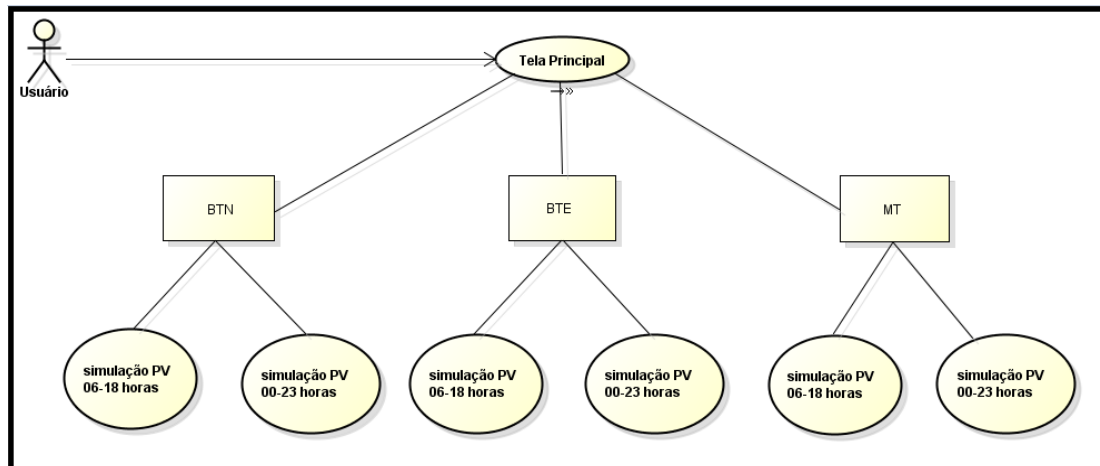


Figura 35 - Diagrama de interação do utilizador com o Simulador.

A aplicação Java foi desenvolvida no ambiente de programação NetBeans. Foi criada uma classe denominada de Simulador Solar PV, com sete telas que foram denominadas de Tela principal simulador, Simulação PV 06 às 18 horas BTN, Simulação PV 06 às 18 horas BTE, Simulação PV 06 às 18 horas MT e Simulação PV 00 às 23 horas BTN, Simulação PV 00 às 23 horas BTE, Simulação PV 00 às 23 horas MT, dentro de um único pacote de trabalho designado de Simulador Solar PV como se pode ver na figura 36.

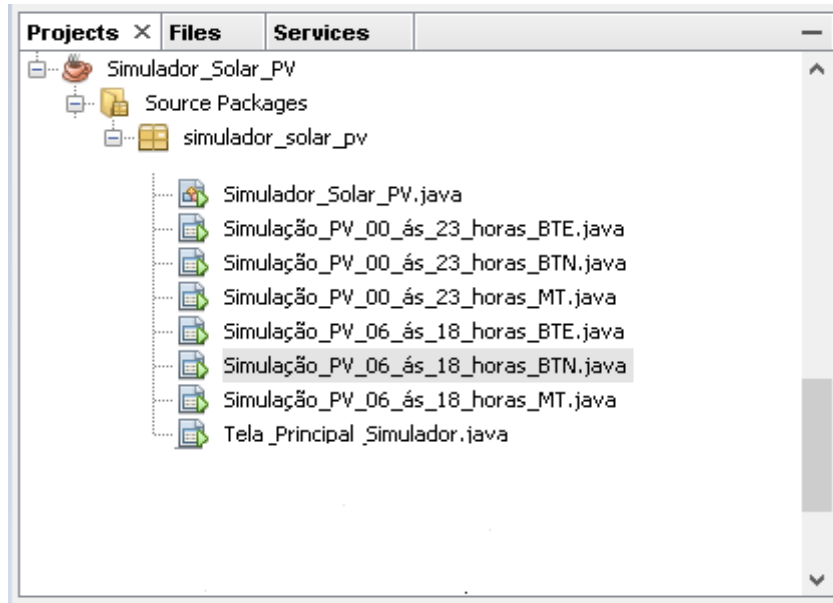


Figura 36 - Janela de pacote de trabalho e classe usado para criação do simulador.

A figura 37 mostra as telas do simulador mostrando suas características e função.

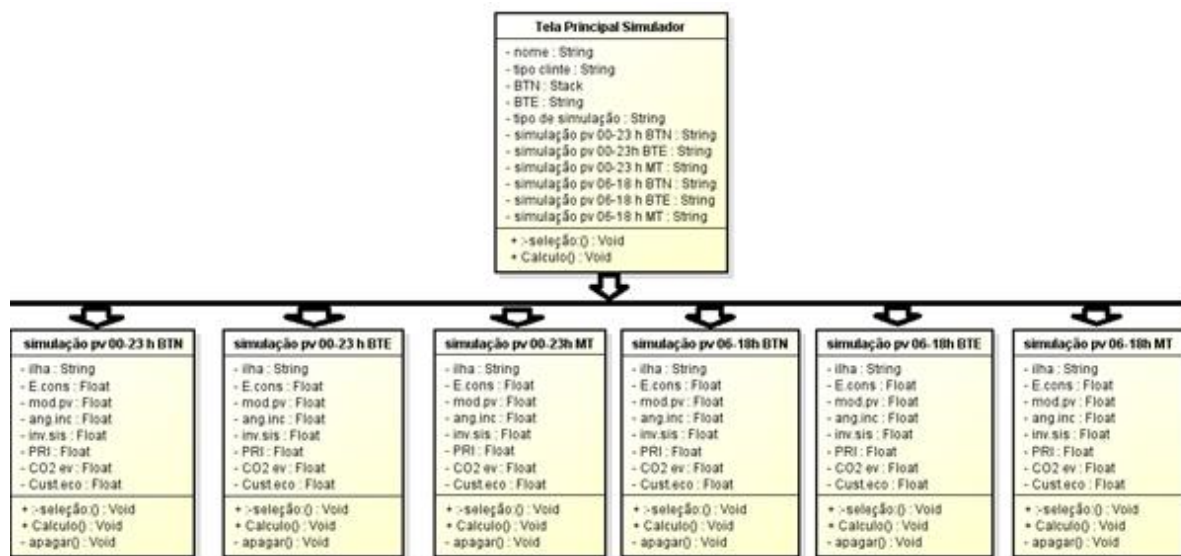


Figura 37 - Telas do Simulador.

A primeira interface é da tela principal do simulador com característica como: nome, tipo de cliente, etc. A mesma tela tem a função de chamar e de seleção. A interface da tela simulação PV 06-18 horas para sistemas de BTN, BTE e MT tem característica como: ilhas, energia consumida, etc. A mesma tela tem a função de realizar cálculos, seleção e apagar. A tela da interface da classe simulação PV 00-23 horas para sistemas de BTN, BTE e MT, tem características como: ilhas, energia consumida, período de consumo desta energia, etc. Esta mesma tela tem a função dos cálculos, selecionar e apaga.

5.4 - Interface principal do Simulador (diagrama de actividade)

O utilizador ao entrar em contrato com a primeira interface do simulador pode preencher os dados como: nome, escolher tipo de cliente e escolher tipo de simulação que deseja realizar, conforme mostra a figura 38.

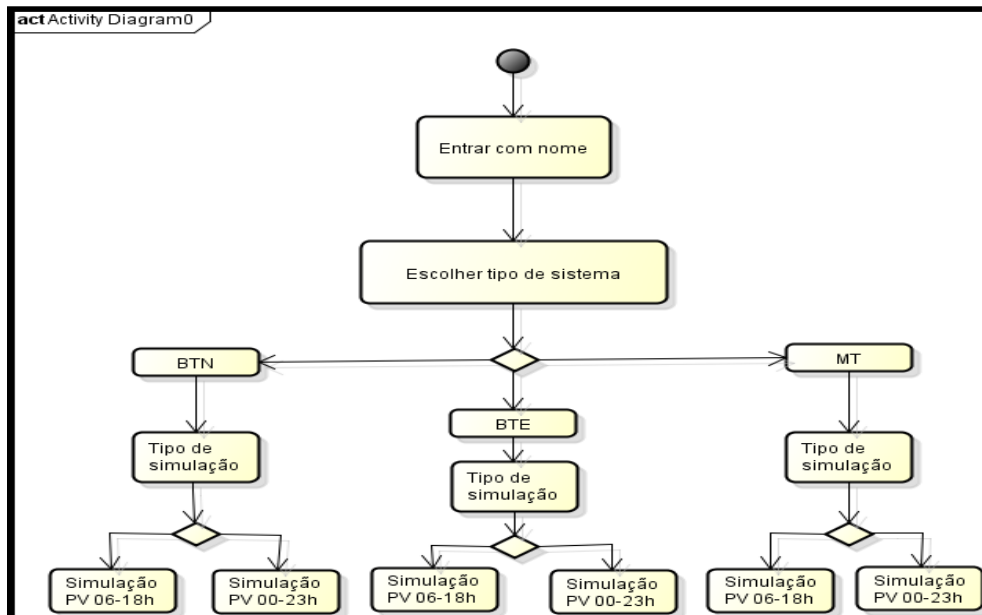


Figura 38 - Diagrama da actividade da primeira interface do Simulador.

Se o utilizador escolher o tipo de cliente que pode corresponder baixa tensão nominal (BTN), baixa tensão especial (BTE) ou média tensão (MT), ao clicar sobre um destes botões (BTN, BTE ou MT), ele activa o botão de escolha de tipo de simulação que o utilizador deseja realizar. Para o utilizador ter acesso as outras telas do simulador são através da escolha de tipo de simulação em que deseja. Existem dois cenários para os clientes, para sistema de BTN, BTE e MT:

- Simulação com base no consumo durante o período solar (06-18 h);
- Simulação com base no consumo diário (00-23 h);

Tanto o cenário de simulação com base no consumo durante o período solar (06-18 h), como simulação com base no consumo diário (00-23 h), realizam a mesma operação para todos os tipos de clientes, BTN, BTE e MT. O que difere o cliente ser BTN, BTE ou MT, tem a ver com nível de potência contratada, tipo de instalação e nível de tensão, como foi designado no capítulo 3.

Na figura 39 encontra uma parte de código que mostra a operação de chamar nova tela ao ser clicado nos botões de tipo de simulação.

```

private void jButton3ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
    //desabilitando tela atual para nao ser clicado mais
    this.setEnabled(false);
    // botao sistema A precionado
    new Simulacao_FV_06_às_18_h(this).setVisible(true);
    jButton2.setEnabled(false);
}

private void jButton2ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
    //desabilitando botao para nao ser clicado mais
    this.setEnabled(false);
    // botao sistema b precionado
    new Simulacao_FV_00_às_23_h(this).setVisible(true);
}

```

Figura 39 - Esquema de código usado para chamar outra tela na primeira interface gráfica.

5.4.1 - Interface da Simulação para consumo durante o período solar 06 às 18 horas BTN

Para esta simulação na primeira janela da interface, o simulador abre a janela da Simulação, com base no consumo de energia durante o período solar em que o utilizador possa realizar seguintes atividades, como mostra a diagrama da atividade da figura 40.

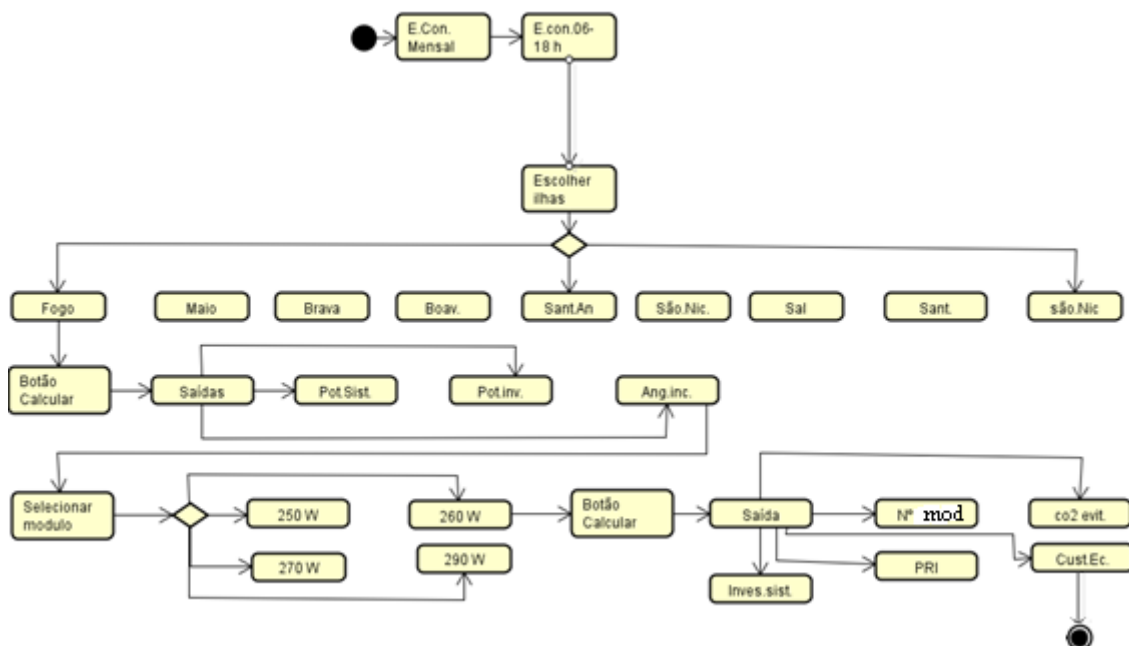


Figura 40 - Diagrama da actividade de interface do simulador - Simulação com base no consumo de energia durante o período solar 06 às 18 horas BTN.

O utilizador deve introduzir a energia consumida no período solar (6:00 às 18:00) e a energia consumida mensalmente, e seguida deve-se escolher a ilha em que se pretende fazer a implementação de sistema fotovoltaico com o objetivo de usar a radiação solar da ilha para o cálculo de potência de sistema fotovoltaico e ângulo de inclinação da mesma ilha. A figura 41

mostra uma parte deste código mostrando que quando o utilizador escolher a ilha o simulador apanha a radiação solar desta ilha e executa o cálculo de potência de sistema PV e indica qual é o ângulo de inclinação.

```
if(tf_a.getSelectedItem().equals("Santiago")){
    e=(float) (d/5.12342);
    tf_e.setText(""+e);
    dd=15;
    tf_dd.setText(""+dd);
    ll=Math.round(e*1000);
    tf_yy.setText(""+ll);
    tt=(float) (0.9*e);
    tf_tt.setText(""+tt);
    zz=Math.round(tt*1000);
    tf_zz.setText(""+zz);
}
```

Figura 41 - Esquema de uma parte de código mostrando cálculo de potência de sistema de acordo com a selecção da ilha.

De seguida com o clique no primeiro botão calcular o simulador vai disponibilizar as seguintes saídas como: potência de sistema fotovoltaico, potência de inversor e ângulo da inclinação. De seguida deve-se fazer escolha de módulo fotovoltaico de acordo com a potência. Com o avançar da utilização é possível obter as outras saídas mais específicas como: número de módulos fotovoltaico, dióxido de carbono evitado, investimento do sistema, custo economizado e período de retorno do capital investido, como mostra a figura 40.

A figura 42 mostra uma parte de código da realização de alguns cálculos depois do o utilizador seleccionar o módulo fotovoltaico, ou seja, a potência de módulo fotovoltaico com o clique no botão calcular.

```
if(modulo.getSelectedItem().equals("250W")){
    ee=Math.round(ll/250);
    tf_ee.setText(""+ee);
    vv=Math.round((float) (0.7*kk));
    tf_vv.setText(""+vv);
    çç=Math.round(vv*365);
    tf_çç.setText(""+çç);
    pp=Math.round(180*ll);
    tf_pp.setText(""+pp);
    gg=Math.round((float) (36.19*d));
    tf_gg.setText(""+gg);
    ss=Math.round(pp/(gg*365));
    tf_ss.setText(""+ss);
}
```

Figura 42 - Esquema de uma parte de código usado em botão calcular.

5.4.2 - Interface da Simulação para consumo durante o período solar 06 às 18 horas BTE

Na simulação para este sistema, com base no consumo de energia durante o período solar, o utilizador possa realizar seguintes atividades como mostra a diagrama da actividade da figura 40.

O utilizador deve introduzir a energia consumida no período solar (6:00 às 18:00) e a energia consumida mensal, de seguida deve-se escolher a ilha em que se pretende fazer a implementação de sistema fotovoltaico com o objetivo de usar a radiação solar da ilha para o cálculo de potência de sistema fotovoltaico e ângulo de inclinação da mesma ilha.

As primeiras saídas da simulação são: potência de sistema fotovoltaico, potência de inversor, ângulo da inclinação. Com a escolha de módulo fotovoltaico obtém-se as outras saídas como: número de módulos fotovoltaico, dióxido de carbono evitado, investimento do sistema, custo economizado e período de retorno do capital investido, como mostra a figura 40.

5.4.3 - Interface da Simulação para consumo durante o período solar 06 às 18 horas MT

Para este sistema, como mostra a figura 40 o utilizador entra com energia consumida diariamente e durante o período da insolação solar. Faz-se a escolha da ilha onde se pretende fazer a instalação solar e a escolha dos módulos PV e obtém-se saídas como: cálculo de potência de sistema PV, ângulo de inclinação, número de painel fotovoltaico, dióxido de carbono evitado, investimento do sistema, custo economizado e período de retorno do capital investido.

Tanto para sistemas de Baixa Tensão Nominal (BTN), Baixa Tensão Especial (BTE) e Média Tensão (MT), o simulador faz as mesmas tarefas.

5.4.4 - Interface da Simulação com base no consumo de energia diário (00-23 horas) BTN

Para esta simulação o simulador também abre a janela onde o utilizador deve introduzir a energia consumida mensalmente, a energia consumida diariamente e energia consumida durante período solar. Deve-se também escolher a ilha com o objetivo de usar a radiação solar da ilha para o cálculo de sistemas fotovoltaico. Com o clique no primeiro botão calcular pode-se obter as seguintes saídas: potência de sistema fotovoltaico, potência de inversor e ângulo da inclinação. A figura 43 mostra a diagrama da atividade para este sistema.

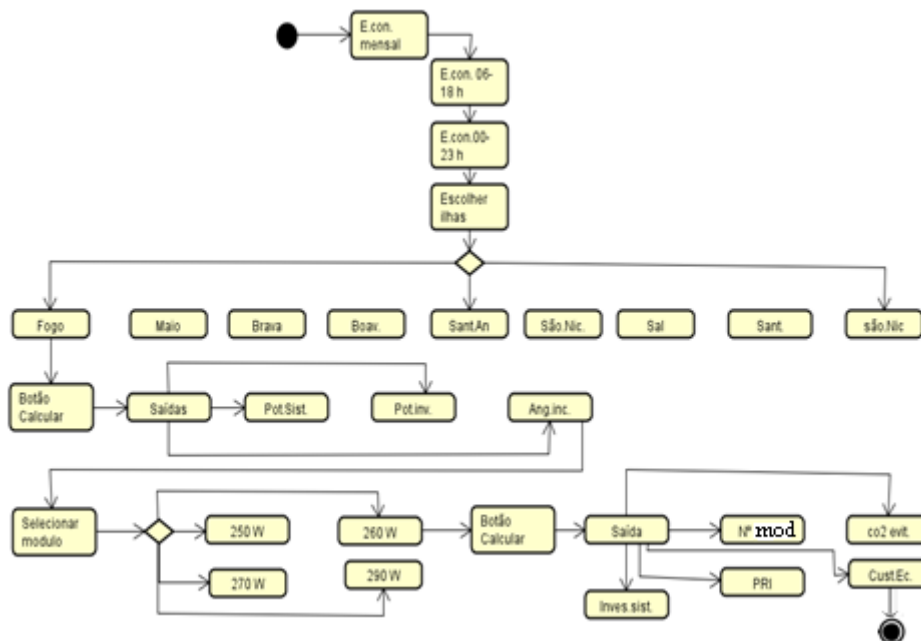


Figura 43 - Diagrama da actividade do simulador base no consumo diário BTN.

De seguida com a escolha o tipo de módulo fotovoltaico pode-se fazer o cálculo de número de módulos fotovoltaicos. A figura 44 mostra uma parte deste código de programação.

```

if(modulo.getSelectedItem().equals("250W")) {
    ee=Math.round(11/250);
    tf_ee.setText(""+ee);
    vv=Math.round((float)(0.7*kk));
    tf_vv.setText(""+vv);
    cc=Math.round(vv*365);
    tf_cc.setText(""+cc);
    pp=Math.round(180*11);
    tf_pp.setText(""+pp);
    gg=Math.round((float)(36.19*d));
    tf_gg.setText(""+gg);
    ss=Math.round(pp/(gg*365));
    tf_ss.setText(""+ss);
}

```

Figura 44- Parte de código para cálculo de número de painel.

De seguida com um clique no botão calcular vai obter-se as outras saídas como: número de módulo fotovoltaico, dióxido de carbono evitado, investimento do sistema, custo economizado e período de retorno do capital investido.

5.4.5 - Interface da Simulação com base no consumo de energia diário (00-23 horas) BTE

Para este sistema o simulador faz os cálculos com base na energia consumida diária e também se obtém as seguintes saídas: potência de sistema fotovoltaico, potência de inversor, ângulo da

inclinação, número do módulo fotovoltaico, dióxido de carbono evitado, investimento do sistema, custo economizado e período de retorno do capital investido, como mostra a figura 43.

5.4.6 - Interface da Simulação com base no consumo de energia diário (00-23 horas) MT

Neste tipo de simulação os processos são idênticos aos que foram apresentados anteriormente, o utilizador para este sistema obtém seguintes resultados, mediante o consumo de energia diário, escolha das ilhas e módulos fotovoltaicos: potência de sistema fotovoltaico, potência de inversor ângulo da inclinação, número de painel fotovoltaico, dióxido de carbono evitado, investimento do sistema, custo economizado e período de retorno do capital investido, como mostra a figura 43.

A principal diferença entre os cenários de simulação tem a ver com consumo de energia utilizada para o dimensionamento do sistema fotovoltaico para diferentes sistemas, sendo que o objetivo é maximizar a produção fotovoltaica face ao consumo no período de maior insolação solar.

5.5 - Dimensionamento de sistemas solar fotovoltaico ligado à rede elétrica

Para dimensionar sistemas solares fotovoltaicos o projetista deve ter conhecimentos das seguintes unidades de medidas:

- Volt (V), usado para medir tensão;
- Ampère (A), usado para medir corrente;
- Watt (W), usado para medir potência;
- Wp = Watt de pico, a potência máxima;
- Wh = Watt-hora, Energia gerada ou consumida por hora;
- Ap = Ampère de pico, corrente máxima;
- Ah = Ampère hora, corrente máxima obtida ou consumida em uma hora;

O modo mais prático para dimensionar um sistema solar conectado à rede é por meio de análise do perfil do consumidor e encontrar o índice da radiação solar do local para facilitar cálculo de potência do sistema, e seguida deve ser feita a escolha de painel fotovoltaico, o número dos módulos, e por último, deve-se definir a potência do inversor, que depende da potência total do sistema [25].

O sistema fotovoltaico deve ser dimensionado com a potência capaz de abastecer conjunto de equipamentos elétricos e depende da energia a ser gerada, assim como dos números de horas de sol diárias (NHS) do local. Podemos estabelecer as seguintes fórmulas [26]:

Cálculo de potência de sistema fotovoltaico

$$Potência\ do\ Sistema\ fotovoltaico = \left(\frac{Energia_gerada}{NHS} \right) \quad (1)$$

Cálculo de quantidade de painéis solar

$$N^o\ módulo = \left(\frac{Potência_do_Sistema_Fotovoltaico}{Potência_do_módulo} \right) \quad (2)$$

Cálculo da potência dos inversores

$$0.7 * Potência\ do\ sistema < Potência\ inversor < 1.2 * Potência\ do\ sistema \quad (3)$$

O NHS estabelecido (horas equivalentes a 1.000 W/m²), para efeitos de cálculos, considera-se **menos 10%** tendo em conta o NHS por ilha (ver tabela 2), subtraindo os efeitos de perdas sobre o sistema, nomeadamente perdas nos painéis, inversor, sombreamento e cablagem.

Hoje em dia o custo do **Wp** para aquisição de um sistema solar fotovoltaico está em queda, muito pela redução do preço de painéis solar. Assim, após uma pesquisa feita no mercado nacional¹, e com base nos preços estabelecidos em alguns concursos nacionais², pesquisa em sites, definiu-se como valor médio de referência para o custo de um sistema solar fotovoltaico para autoconsumo de **180\$/Wp**. Este valor já inclui a aquisição dos principais equipamentos como painéis e inversor, todos os acessórios de montagem, proteção e cablagens, uma vez que o objetivo é os consumidores terem noção de valores envolvidos na aquisição de um sistema PV.

5.6 - Fórmulas Usadas para o Dimensionamento do Simulador

Partindo das fórmulas descritas (1), (2) e (3), serão apresentadas as fórmulas de base para o dimensionamento com base no Simulador Solar, para os dois cenários, que são considerados para sistemas de Baixa Tensão Nominal, Baixa Tensão Especial e Média Tensão:

¹ Empresas nacionais: Repower, Lobosolar, Gtek, Semico, Electric, ARES, entre outros.

² Concursos MAA, POSER, GEF, ECREEE, e outros

- Simulação com base no consumo durante o período solar (06-18 h);
- Simulação com base no consumo diário (00-23 h);

5.6.1 - Dimensionamento do PV com base no consumo de energia durante o período solar (06-18 h)

Considerando que a energia a ser gerada no período solar deverá ser igual à energia consumida, sendo o que se pretende satisfazer, ou seja, minimizar o consumo de energia que vem da rede neste período. O cálculo de potência de sistema fotovoltaico é dado pelo quociente entre a energia consumida pelo cliente entre o período solar (06-18 h) e a radiação solar do local (ilha) escolhida. Pretende-se impor a potência do sistema com base na energia consumida no período solar, ou seja, que o sistema PV satisfaça 100% o consumo.

$$\text{Energia gerada} = \text{Energia consumida.} \quad (4)$$

$$\text{Potência Sistema PV} = \frac{\text{Energia consumida(06-18 horas)}}{NHS} \quad (5)$$

Para cálculo da potência do inversor foi assumido que este represente 90% do valor de potência do sistema, o que está dentro do intervalo estabelecido, conforme a fórmula (3).

$$\text{Potência Inversor} = 0.9 * \text{Potência Sistema PV} \quad (6)$$

A quantidade de painéis a instalar é dado pelo quociente entre potência do sistema e potência unitária do módulo PV.

$$N^{\circ} \text{painel} = \frac{\text{Potência Sistema PV}}{\text{Potência modulo PV}} \quad (7)$$

Para o cálculo da quantidade de dióxido de carbono evitado (ou não emitida para a atmosfera), assume-se que para cada kWh de energia solar produzida corresponde a não emissão de 0.7 kg de CO₂ para a atmosfera [27]:

$$CO_2 \text{ evitado (dia)} = 0.7 * \text{Potência Sistema PV} \quad (9)$$

O custo do capital investido é dado pelo produto entre o custo base de 180\$/Wp e potência do campo solar a ser instalado.

$$\text{Investimento do Sistema} = \text{Custo Wp} * \text{potência do sistema PV} \quad (10)$$

O cálculo do custo evitado ou economizado por dia, é dado pelo produto entre a tarifa de venda de eletricidade para clientes (BTN, BTE e MT), dependendo do escalão de consumo de acordo

com a Tabela 5, e a energia consumida no período solar. De referir que o PVE utilizado, já inclui IVA.

$$\text{Custo Economizado (dia)} = \text{PVE} * \text{Energia consumida} \quad (11)$$

Para o BTN considerado, segundo escalão com energia maior do que 60 kWh/mês, o PVE é 36.19 escudos, para BTE o PVE é de 31.76 escudos, e MT o PVE é de 26.79 escudos.

O período de retorno de investimento, é dado pelo quociente entre o investimento e o custo economizado anualmente, ou seja, a quantidade de energia que se deixa de ir buscar à rede.

$$\text{Período do retorno (PRI)} = \frac{\text{Investimento do Sistema}}{\text{Custo Evitado} * 365 \text{ dias}} \quad (12)$$

5.6.2 - Dimensionamento do PV com base no consumo de energia diário (00-23 h)

O dimensionamento para o cenário 2 é feito com base nas fórmulas descritas no ponto anterior, com exceção da fórmula (5), em que deve-se assumir a energia consumida pelo cliente em 24h, aplicando-se a mesma metodologia e fórmulas apresentadas atrás.

O cálculo de potência de sistema fotovoltaico é dado pelo quociente entre a energia consumida diário pelo cliente (00-23 h) e a radiação solar do local (ilha) escolhida.

$$\text{Potência Sistema PV} = \frac{\text{Energia consumida (00-23 h)}}{NHS} \quad (13)$$

CAPITULO 6 – CASO DE ESTUDO E RESULTADOS

6.1 - Caso de estudo

Neste subcapítulo vai ser apresentado o resultado do Simulador com um exemplo de um caso real através da respetiva fatura elétrica de um cliente com contrato de fornecimento de energia em baixa tensão nominal (BTN), como pode-se constatar pela figura 45.

FATURA 1 / 2

Estamos à sua disposição de 2ª a 6ª das 8 às 16:15h
ou através dos telefones 9003043 e 2403460
Para avarias ou emergência ligue 9001133 ou 2403461

Titular do Contrato
NIF: _____
Nº Cliente/Conta: _____
Código Local Consumo - CIL Nº
ZONA ACHADINHA BAIXO, ACHADINHA

Detalhes da(s) Fatura(s) 2 / 2

Electricidade

Número de Fatura: 007181103001949
Tarifa: Baixa Tensão Normal (BTN) Período Faturação: 2018-10-03 a 2018-11-05 Tipo de Cliente: Domésticos Tipo de Leitura: Empresa

Tipo de Consumo	Contador Nº	Leituras Anteriores da Empresa (*)	Leitura Ant. (2018-10-02)	Leitura Atual (2018-11-05)	Potência	Consumo Real Medido	Consumo Adicional	Consumo Acorio Ant.	Cons. Estimado Período
Activa	14646042	26.044,00 (2018-09-04)	26.277,00 (2018-10-02)	241,03 kWh (Média)	26.277,00	26.810,00	3.300,00	333,00 kWh	0,00 kWh

(*) inclui leitura(s) anteriores mais recentes(s) da empresa e consumo médio nesse período

Descrição	Explicação de valores	Faturado	Valor Unitário	Valor	IVA
Electricidade	298x(34d×12/365d)	333,00	29,550000	9.840,00	4
Electricidade [> 60]	45,00 x 1,0 Meses	1,00	45,000000	45,00	4
Tarifa Fixa	333,0 x 4,55%	15,15	22,690000	344,00	4
IVA	533,00000x0,00/100				
IVA 0%	10229,00000x15,00/100			0,00	
IVA 15%				1.534,00	
RTC	533,00 x 1,0 Meses	1,00	533,000000	533,00	0
Taxa RTC					
Total:				12.296,00 CVE	

Figura 45: Fatura de eletricidade usado para simulação.

Como se pode verificar, o consumo no mês de Outubro foi de 333 kWh. Entretanto para a simulação vai-se usar a média mensal de 241 kWh, o que representa um consumo médio diário de aproximadamente 8,02 kWh, ou seja, durante o período solar o cliente consome aproximadamente 4,7 kWh³ (representa cerca de 60% de consumo de energia diário). A tabela 8, está representado o consumo médio diário.

³ Valor medido com base na leitura horária no contador. Uma vez que não dispunha de um analisador de redes, para medição mais precisa e realista.

Tabela 8: – Média de consumo de energia diária.

Hora	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Soma
Energia Consumida (kWh)	0,17	0,16	0,16	0,13	0,16	0,15	0,16	0,35	0,36	0,25	0,41	0,35	0,38	0,39	0,39	0,32	0,38	0,44	0,49	0,46	0,55	0,49	0,49	0,44	8,02

Na figura 46, está representado o diagrama de cargas de consumo médio diário do referido cliente.

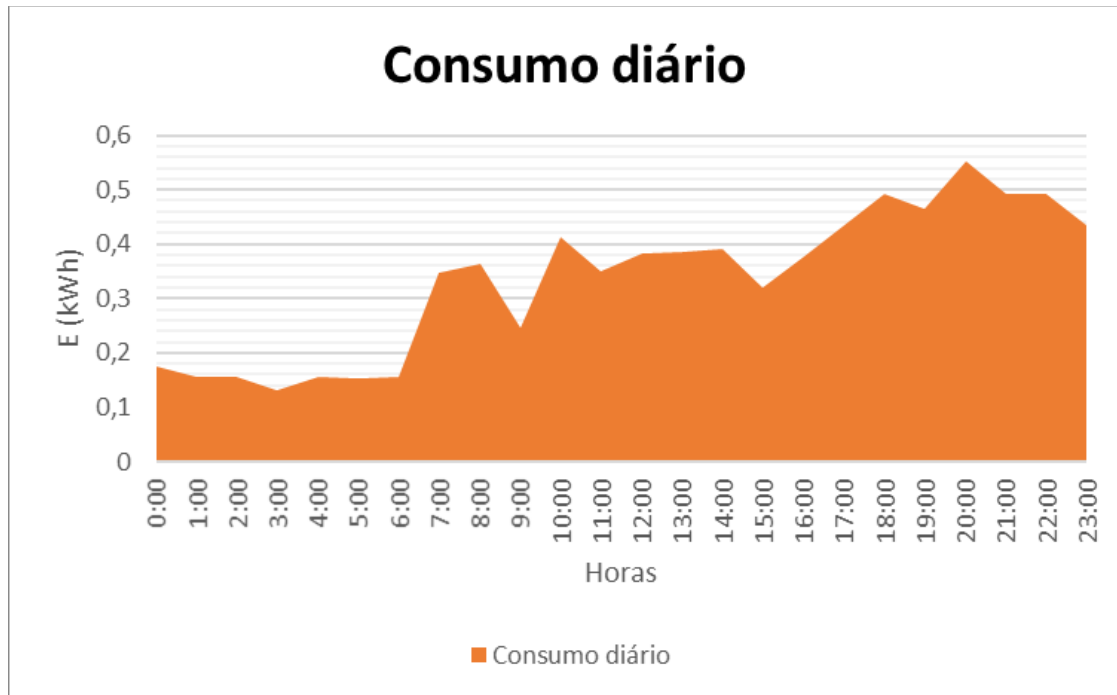


Figura 46: Diagrama de carga diário

De seguida irão ser apresentadas todos os resultados que se pode obter do simulador solar, tendo por base os dois cenários descritos anteriormente.

- Simulação com base no consumo de energia durante o período solar (06-18h);
- Simulação com base no consumo diário (00-23h).

6.2 - Resultados

A primeira interface do simulador é uma interface onde o utilizador tem o primeiro contacto com o simulador, onde pode preencher os campos de uso pessoal, o tipo de contrato que detém com a concessionária e escolher qual o cenário que deseja realizar na simulação. A figura 47 mostra essa janela da interface.

O campo (1) **Nome** é opcional.

O campo (2) **Tipo Cliente** permite ao utilizador escolher tipo de cliente, se é (3) **BTN**, (4) **BTE** ou (5) **MT**. O campo (6) **Escolher de Tipo de Simulação** é um campo onde o utilizador possa escolher que tipo de simulação deseja realizar, se é (7) **Simulação PV** (06 – 18 h) ou se é (8)

Simulação PV (00 – 23 h), para cada um dos tipos de cliente. E o campo **sair**, caso o utilizador pretenda abandonar a simulação.

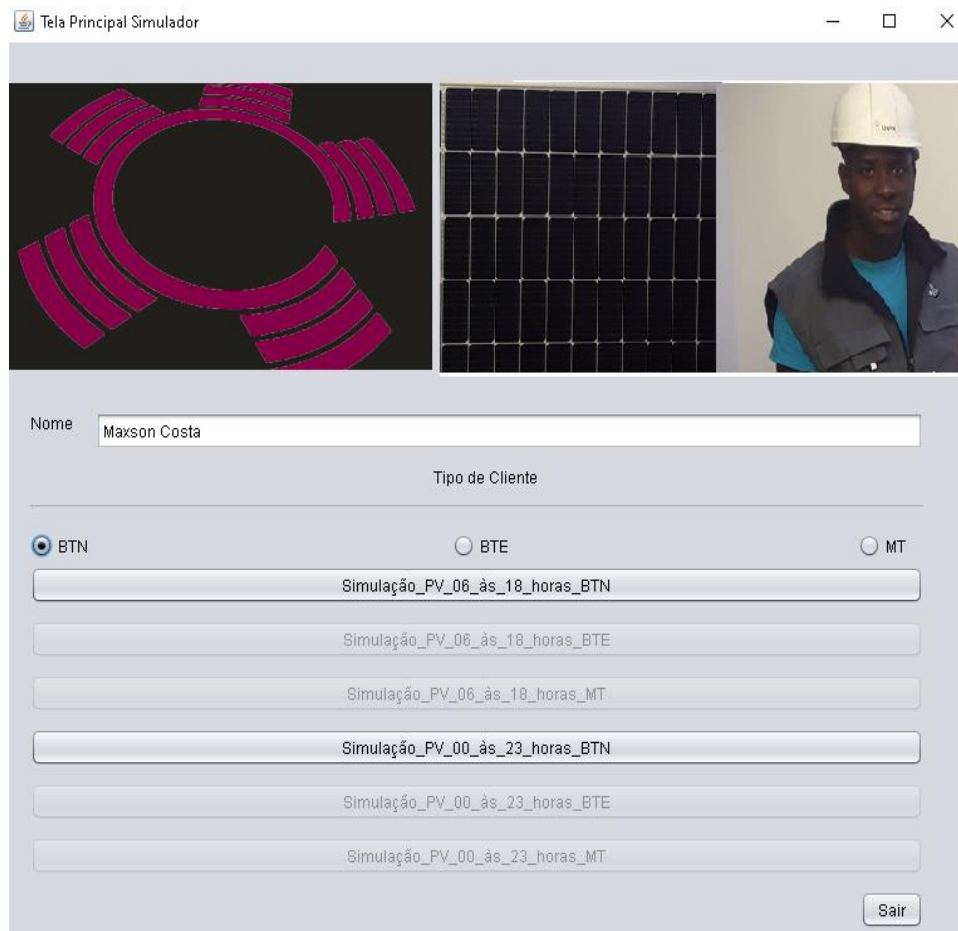


Figura 47: Primeira interface do Simulador.

6.2.1 Simulação do sistema BTN com base no consumo de energia no período solar (06-18 h)

Caso o utilizador escolha esta opção, ao clicar no botão **Simulação PV_ 06_às_18 horas_BTN** abre outra janela de interface, que é tanto de entrada como de saída de dados (*inputs/outputs*). O utilizador pode introduzir as entradas, nomeadamente poderá escolher a **ilha** (neste caso o cliente é da ilha de Santiago) introduzir o consumo de **Energia consumida durante o período solar** (valor estimado de 4,7 kWh) e a energia consumida mensalmente (241 kWh). De seguida o utilizador deverá clicar no botão **Calcular** e obtém-se as seguintes saídas, como se pode visualizar na figura 48.

- Potência de sistema fotovoltaico = **917 Wp**;
- Potência do inversor = **826 Wp**;
- Ângulo de inclinação painéis = **15°**;

Simulação_PV_06_às_18_horas_BTN

Inputs

Selecionar Ilha: Santiago

Energia consumida mensal

241 KWh/mês

Energia consumida no periodo da insolação solar (06-18horas)

4.7 KWh

Calcular

Output 1

Potência do sistema PV

0.91735595 KWp 917.0 Wp

Potência do Inversor

0.82562035 KWp 826.0 Wp

Ângulo de Inclinação

15.0 °C

Figura 48: Janela de interface de simulação PV 06 às 18 horas BTN.

Posto isto, e na mesma interface, o utilizador poderá escolher a potência do **módulo fotovoltaico** que deseja (neste caso optou-se pela escolha de módulos de 250 W) e de seguida clicar no botão **Calcular** e obter as outras saídas, como se pode ver na figura 49, tais como:

- Quantidade de painéis = **4**;
- CO₂ evitado = **~1 Kg/dia**, o que equivale a **~365 kg/ano**;
- Investimento do sistema = **~165.060 ECV**;
- Custo evitado (dia) = **170,00 ECV**;
- PRI = aproximadamente **3 anos**;

Simulação_PV_06_às_18_horas_BTN

Calcular

Output 1

Potência do sistema PV

kWp Wp

Potência do Inversor

kWp Wp

Ângulo de Inclinação

°C

Selecionar Módulo:

Calcular

Nº Painéis

CO2 Evitados

Kg/dia Kg/ano

Investimento do sistema

ECV

Custo economizado

ECVdia

PRI

anos

Limpar

Figura 49: Janela de interface de simulação PV 06 às 18 horas BTN

A figura 50 representa o mix entre o consumo diário e a energia produzida pelo sistema solar de **917 Wp**, a ser instalado de acordo com a simulação no cenário 1.

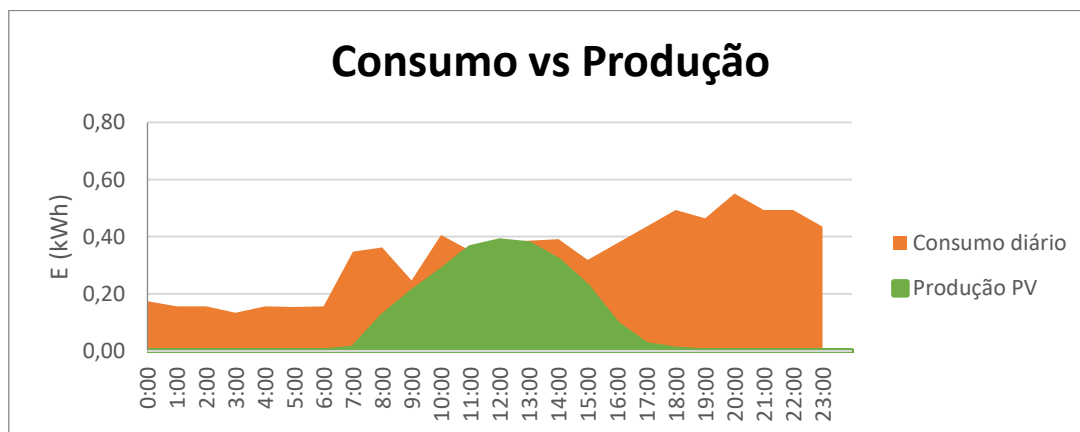


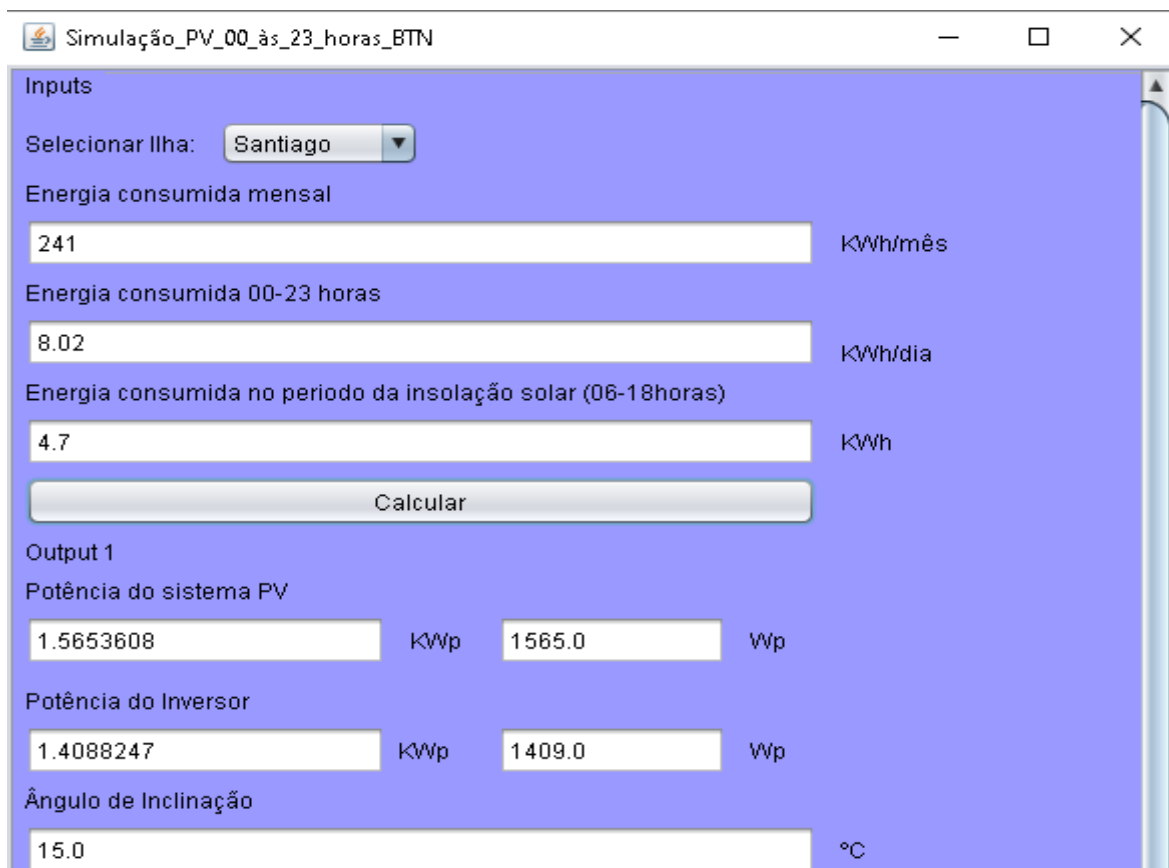
Figura 50: Mix entre consumo diário e a energia produzida pelo sistema 0,97 kWp da simulação cenário 1.

Como se pode constatar, o cliente consegue produzir a energia necessária para cobrir mais de 80% de consumo de energia durante o período solar, o que aumenta a rentabilidade do sistema, uma vez que neste período (06-18 h) vai buscar o mínimo possível de energia à rede elétrica. Além disso, há garantia de não injeção de energia na rede elétrica.

6.2.2 Simulação do sistema com base no consumo de energia diário 00 às 23 horas BTN

Caso o utilizador opta por escolher a outra opção, **Simulação PV (00-23 h_BTN)**, conforme figura 47, o simulador abre a janela de interface de simulação PV de 00 às 23 horas BTN que é tanto de entrada como de saída de dados (inputs/outputs). O utilizador pode introduzir quatro entradas, nomeadamente poderá escolher a **ilha** e introduzir o consumo de **Energia consumida durante um dia** (valor estimado de 8,02 kWh), consumo mensal (241 kWh) e energia consumida durante período solar (valor estimado de 4.7 kWh). De seguida o utilizador deverá clicar no botão **Calcular** e obter as seguintes saídas, como se pode ver na figura 51.

- Potência de sistema fotovoltaico = ~**1565Wp**;
- Potência do inversor = ~**1409W**;
- Ângulo de inclinação painéis = **15°**;



The screenshot shows a software window titled "Simulação_PV_00_às_23_horas_BTN". The interface is divided into "Inputs" and "Output 1" sections. In the "Inputs" section, there is a dropdown menu for "Selecionar Ilha" set to "Santiago". Below it are three input fields: "Energia consumida mensal" with the value 241 (unit kWh/mês), "Energia consumida 00-23 horas" with the value 8.02 (unit kWh/dia), and "Energia consumida no periodo da insolação solar (06-18horas)" with the value 4.7 (unit kWh). A "Calcular" button is located below these inputs. The "Output 1" section displays the results: "Potência do sistema PV" with values 1.5653608 kWp and 1565.0 Wp; "Potência do Inversor" with values 1.4088247 kWp and 1409.0 Wp; and "Ângulo de Inclinação" with the value 15.0 °C.

Input	Value	Unit
Selecionar Ilha	Santiago	
Energia consumida mensal	241	kWh/mês
Energia consumida 00-23 horas	8.02	kWh/dia
Energia consumida no periodo da insolação solar (06-18horas)	4.7	kWh

Output 1	Value	Unit
Potência do sistema PV	1.5653608	kWp
	1565.0	Wp
Potência do Inversor	1.4088247	kWp
	1409.0	Wp
Ângulo de Inclinação	15.0	°C

Figura 51: Janela de interface de simulação PV 00 às 23 horas BTN

Posto isto, e na mesma interface o utilizador poderá escolher a potência do **módulo fotovoltaico** que deseja (neste caso optou-se pela escolha de módulos de 250 W) e de seguida clicar no botão **Calcular** e obter as outras saídas, como se pode ver na figura 52, tais como:

- Quantidade de painéis = ~6;
- CO₂ evitado = ~**1 Kg/dia**, o que equivale a **365 kg/ano**;
- Investimento do sistema = ~**281.700 ECV**;
- Custo evitado (dia) = ~**170 ECV**;
- PRI = ~**5 anos**;

The screenshot shows a software window titled "Simulação_PV_00_às_23_horas_BTN". The interface is divided into several sections:

- Input Section:**
 - Buttons: "Calcular" (top), "Calcular" (middle), "Limpar" (bottom).
 - Output 1: Potência do sistema PV (1.5653608 kWp, 1565.0 Wp).
 - Potência do Inversor (1.4088247 kWp, 1409.0 Wp).
 - Ângulo de Inclinação (15.0 °C).
 - Selecionar Módulo: 250W (dropdown menu).
- Output Section:**
 - Nº Painéis: 6.0
 - CO2 Evitados (1.0 Kg/dia, 365.0 Kg/ano).
 - Investimento do sistema (281700.0 ECV).
 - Custo economizado (170.0 ECV/dia).
 - PRI (5.0 anos).

Figura 52: - Janela de interface de simulação PV 00 às 23 horas BTN

A figura 53 representa o mix entre o consumo diário e a energia produzida pelo sistema solar de **1565 Wp**, a ser instalado de acordo com a simulação no cenário 2.

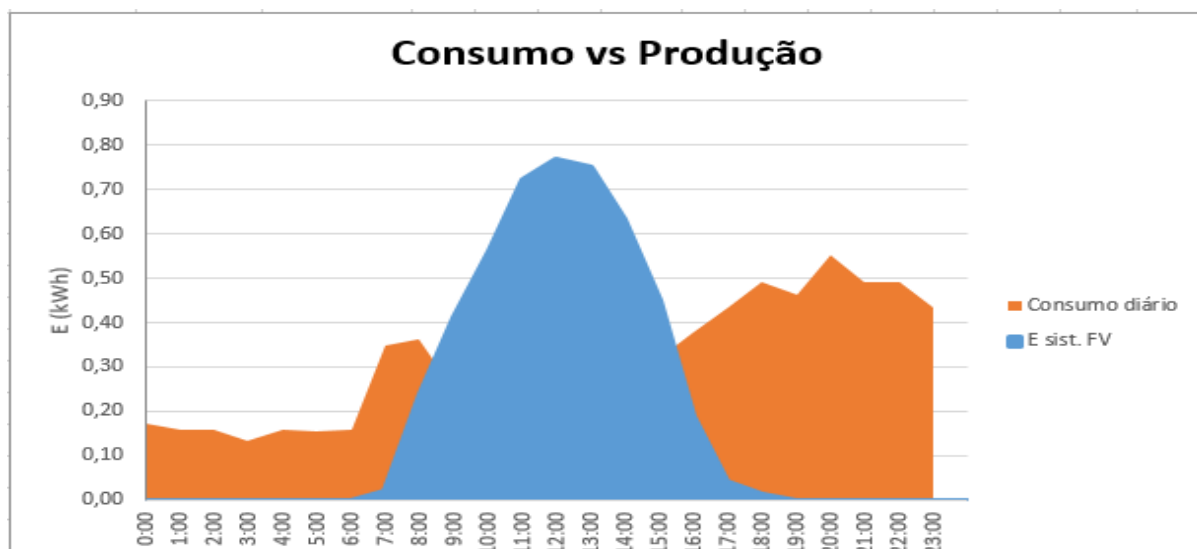


Figura 53: Mix entre consumo diário e a energia produzida pelo sistema de aproximadamente 1,6 kWp da simulação cenário 2.

6.2.3 Resultado Simulação do sistema com base no consumo de energia das 06 às 18 horas BTE

Caso o utilizador opta por escolher a opção **Simulação PV (06-18 h_BTE)**, conforme figura 54.

O simulador abre a janela de interface de simulação PV de 06 às 18 horas BTE que é tanto de entrada como de saída de dados (inputs/outputs). O utilizador pode introduzir quatro entradas, suponhamos que o utilizador escolherá ilha do Fogo e introduziu o consumo de **Energia consumida durante um dia** (valor estimado de 10 kWh), consumo mensal (300 kWh) e energia consumida durante período solar (valor estimado de 4 kWh). De seguida o utilizador deverá clicar no botão **Calcular** e obter as seguintes saídas, como se pode ver na figura 55.

- Potência de sistema fotovoltaico = **~773 Wp**;
- Potência do inversor = **~696 Wp**;
- Ângulo de inclinação painéis = **15°**;

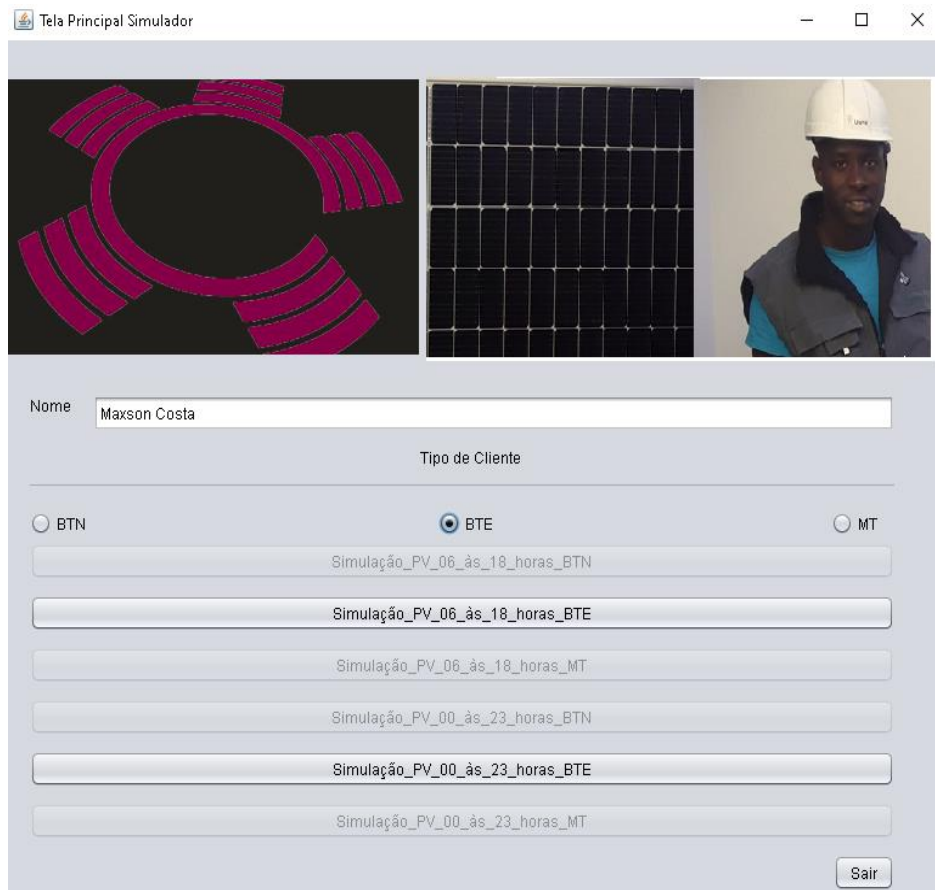


Figura 54:Primeira interface do Simulador.

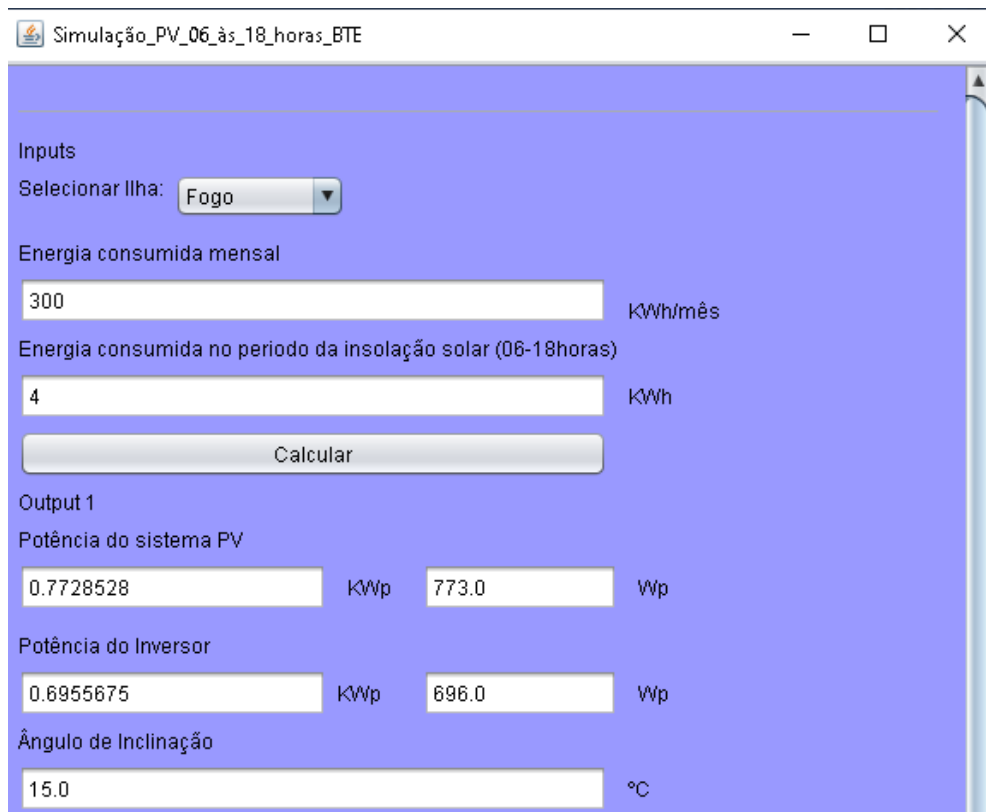


Figura 55:- Janela de interface de simulação PV 06 às 18 horas BTE

Na mesma interface, o utilizador poderá escolher a potência do **módulo fotovoltaico** que deseja (neste caso suponha-se que optou pela escolha de módulos de 455 W) e de seguida clicar no botão **Calcular**, obtem as outras saídas, como se pode ver na figura 56, tais como:

- Quantidade de painéis = **~2**;
- CO₂ evitado = **1 kg/dia**, o que equivale a **365 kg/ano**;
- Investimento do sistema = **139.140 ECV**;
- Custo evitado (dia) = **127 ECV**;
- PRI = **~ 3 anos**;

The screenshot shows a software window titled "Simulação_PV_06_às_18_horas_BTE". The interface is blue and contains several input fields and buttons. At the top, there is a "Calcular" button. Below it, the "Output 1" section displays the following values:

Input	Value	Unit
Potência do sistema PV	0.7728528	KWp
Potência do Inversor	0.6955675	KWp
Ângulo de Inclinação	15.0	°C
Selecionar Módulo:	455W	
Nº Painéis	2.0	
CO2 Evitados	1.0	Kg/dia
Investimento do sistema	139140.0	ECV
Custo economizado	127.0	ECV/dia
PRI	3.0	anos

Below these results, there is another "Calcular" button and a "Limpar" button at the bottom.

Figura 56: Janela de interface de simulação PV 06 às 18 horas BTE

6.2.4 Resultado Simulação do sistema com base no consumo de energia diário 00_às_23_horas_BTE

Caso o utilizador escolher a opção **Simulação PV (00-23 h_BTE)**, conforme figura 54,

o simulador abre a janela de interface de simulação PV de 00 às 23 horas BTE. O utilizador pode introduzir quatro entradas, por exemplo, supondo que o utilizador escolha ilha do Fogo, introduziu o consumo de **Energia consumida durante um dia 00-23 horas** (valor estimado de 10 kWh), o consumo mensal (300 kWh) e a energia consumida durante período solar (valor estimado de 4 kWh). Vai obter as seguintes saídas, como se pode ver na figura 57.

- Potência de sistema fotovoltaico = ~**1932 Wp**;
- Potência do inversor = ~**1739 Wp**;
- Ângulo de inclinação painéis = **15°**;

Figura 57:- Janela de interface de simulação PV 00 às 23 horas BTE

Depois o utilizador poderá escolher a potência do **módulo fotovoltaico** que deseja (neste caso suponha-se que optou pela escolha de módulos de 455 W) e de seguida clicar no botão **Calcular** e obter as outras saídas, como se pode ver na figura 58, tais como:

- Quantidade de painéis = ~4;
- CO₂ evitado = **1 kg/dia**, o que equivale a **365 kg/ano**;

- Investimento do sistema = **347.760 ECV**;
 - Custo evitado (dia) = **127 ECV**;
- PRI = ~ 8 anos;**

The screenshot shows a software window titled "Simulação_PV_00_às_23_horas_BTE". The interface is blue and contains several input fields and buttons. The results are as follows:

Category	Value	Unit
Output 1		
Potência do sistema PV	1.9321319	KWp
	1932.0	Wp
Potência do Inversor	1.7389187	KWp
	1739.0	Wp
Ângulo de Inclinação	15.0	°C
Selecionar Módulo:	455W	
Nº Painéis	4.0	
CO2 Evitados	1.0	Kg/dia
	365.0	Kg/ano
Investimento do sistema	347760.0	ECV
Custo economizado	127.0	ECV/dia
PRI	8.0	anos

Figura 58: Janela de interface de simulação PV 00 às 23 horas BTE

6.2.5 Resultado Simulação do sistema com base no consumo de energia das 06_às_18_horas_MT

Se o utilizador optar por escolher a opção **Simulação PV (06-18 h_MT)**, conforme figura 59.

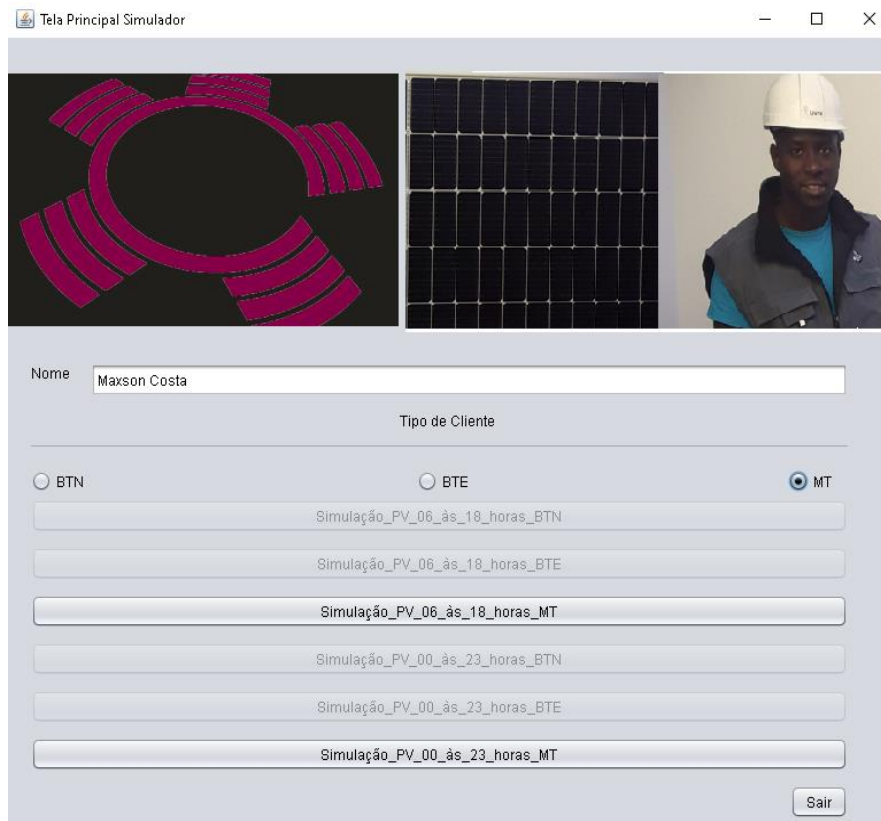


Figura 59:Primeira interface do Simulador.

O simulador abre a janela de interface de simulação PV de 06 às 18 horas MT. O utilizador pode introduzir quatro entradas, ou seja, suponha-se que o utilizador escolhe ilha do Maio e introduziu o consumo de **Energia consumida durante um dia 00-23 horas** (valor estimado de 17 kWh), o consumo mensal (500 kWh) a energia consumida durante período solar (valor estimado de 12 kWh). De seguida o utilizador deverá clicar no botão **Calcular** e obter as seguintes saídas, como se pode ver na figura 60.

- Potência de sistema fotovoltaico = **2405 Wp**;
- Potência do inversor = **2164 Wp**;
- Ângulo de inclinação painéis = **15°**;

De seguida, e na mesma interface, o utilizador poderá escolher a potência do **módulo fotovoltaico** que deseja (supondo a escolha de módulos de 455 W) e de seguida clicar no botão **Calcular** e obter as outras saídas, como se pode ver na figura 61, tais como:

- Quantidade de painéis = 5;
- CO₂ evitado = **~2 Kg/dia**, o que equivale a **730 kg/ano**;
- Investimento do sistema = **~432.900 ECV**;
- Custo evitado (dia) = **~321 ECV**;

PRI = ~ 4 anos;

Simulação_PV_06_às_18_horas_MT

Inputs

Selecionar Ilha: Maio

Energia consumida mensal
 KWh/mês

Energia consumida no periodo da insolação solar (06-18horas)
 KWh

Calcular

Output 1

Potência do sistema PV
 KWp Wp

Potência do Inversor
 KWp Wp

Ângulo de Inclinação
 °C

Figura 60: Janela de interface de simulação PV 06 às 18 horas MT

Simulação_PV_06_às_18_horas_MT

Energia consumida no periodo da insolação solar (06-18horas)
 KWh

Calcular

Output 1

Potência do sistema PV
 KWp Wp

Potência do Inversor
 KWp Wp

Ângulo de Inclinação
 °C

Selecionar Módulo: 455W

Calcular

Nº Painéis

CO2 Evitados
 Kg/dia Kg/ano

Investimento do sistema
 ECV

Custo economizado
 ECV/dia

PRI
 anos

Limpar

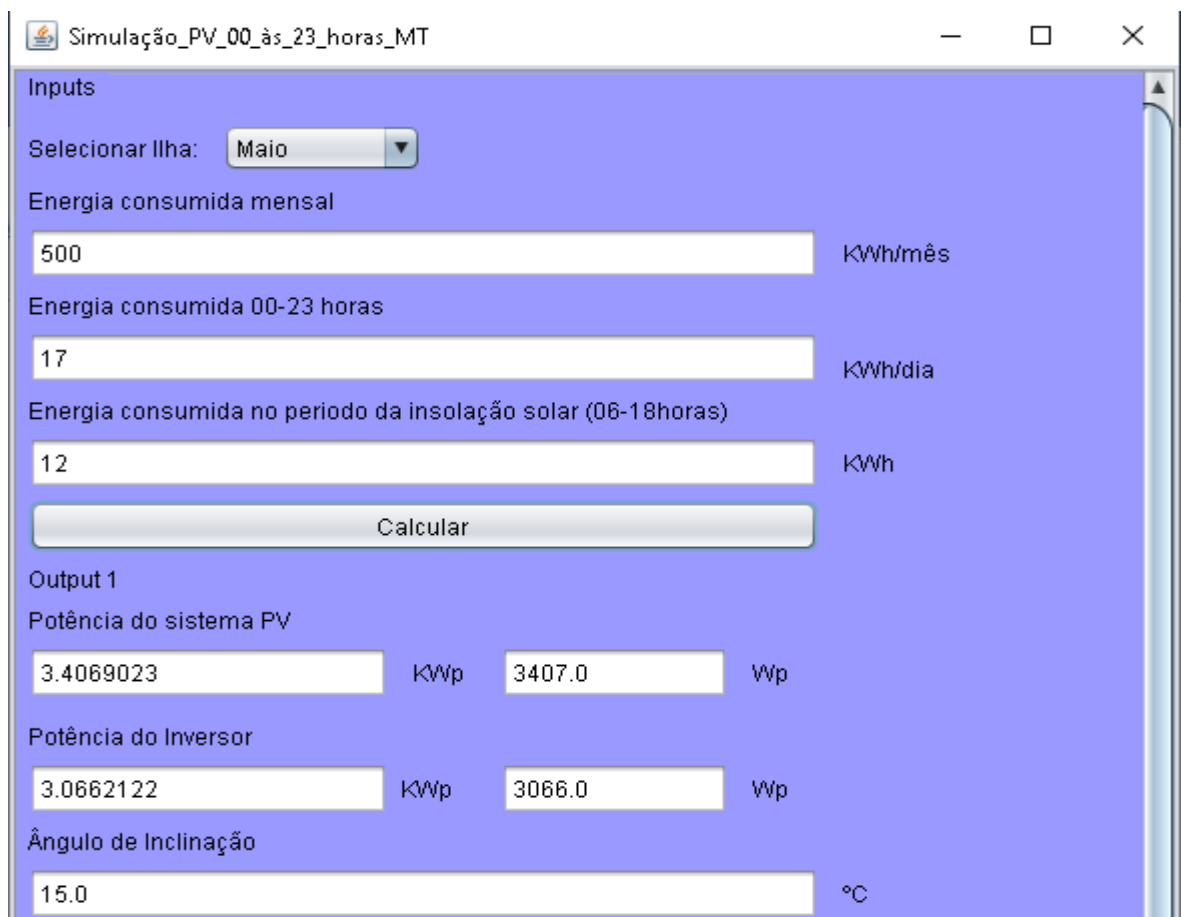
Figura 61:- Janela de interface de simulação PV 06 às 18 horas MT

6.2.6 Resultado Simulação do sistema com base no consumo de energia diário 00_às_23_horas_MT

Se o utilizador escolher a opção **Simulação PV (00-23 h_MT)**, conforme figura 59.

O simulador abre a janela de interface de simulação PV de 00 às 23 horas MT. O utilizador pode escolher a ilha da Maio, introduzir o consumo de **Energia consumida durante um dia 00-23 horas** (valor estimado de 17 kWh), o consumo mensal (500 kWh) e a energia consumida durante período solar (valor estimado de 12 kWh), e obter as seguintes saídas, como se pode ver na figura 60.

- Potência de sistema fotovoltaico = ~**3407 Wp**;
- Potência do inversor = ~**3066 Wp**;
- Ângulo de inclinação painéis = **15°**;



Inputs

Selecionar Ilha: Maio

Energia consumida mensal
500 kWh/mês

Energia consumida 00-23 horas
17 kWh/dia

Energia consumida no periodo da insolação solar (06-18horas)
12 kWh

Calcular

Output 1

Potência do sistema PV
3.4069023 KWp 3407.0 Wp

Potência do Inversor
3.0662122 KWp 3066.0 Wp

Ângulo de Inclinação
15.0 °C

Figura 62:- Janela de interface de simulação PV 00 às 23 horas MT

O utilizador poderá escolher a potência do **módulo fotovoltaico** que deseja (por exemplo 455 W) as outras saídas, serão como se pode ver na figura 63:

- Quantidade de painéis = **7**;
- CO₂ evitado = ~**2 kg/dia**, o que equivale a **730 kg/ano**;

- Investimento do sistema = **613260 ECV**;
- Custo evitado (dia) = **321 ECV**;

PRI = ~5 anos;

The screenshot shows a software window titled "Simulação_PV_00_às_23_horas_MT". The interface is blue and contains several input fields and buttons. A "Calcular" button is at the top. Below it, the results for "Output 1" are displayed:

- Potência do sistema PV:** 3.4069023 KWp (3407.0 Wp)
- Potência do Inversor:** 3.0662122 KWp (3066.0 Wp)
- Ângulo de Inclinação:** 15.0 °C
- Selecionar Módulo:** 455W (dropdown menu)
- Nº Painéis:** 7.0
- CO2 Evitados:** 2.0 Kg/dia (730.0 Kg/ano)
- Investimento do sistema:** 613260.0 ECV
- Custo economizado:** 321.0 ECV/dia
- PRI:** 5.0 anos

At the bottom of the interface, there is a "Limpar" button.

Figura 63: Janela de interface de simulação PV 00 às 23 horas MT

CAPITULO 7 – CONCLUSÃO

7.1 - Conclusão

Este trabalho apresenta um Simulador Solar PV para sistemas fotovoltaicos ligados à rede elétrica para alimentação em Baixa Tensão Nominal (BTN), Baixa Tensão Especial (BTE) e Média Tensão (MT). Os objetivos propostos inicialmente foram cumpridos, com realização deste simulador. A aplicação permite conectar códigos de programação e informações como: inserir, ler, alterar dados inseridos e calcular, através dos métodos das classes. A partir da interface gráfica todas as operações foram garantidas com sucesso, tais como, manipulações dos dados mediante área de conhecimento.

É notório que a opção pelo cenário de dimensionamento de um sistema fotovoltaico para autoconsumo, com base no consumo de energia durante o período solar é mais benéfico em detrimento de dimensionamento com base no consumo de energia diário. Como se pode constatar no cenário 1, o cliente consegue produzir a energia necessária para cobrir mais de 80% de consumo de energia durante o período solar e há garantia de não injeção de energia na rede elétrica. Enquanto que usando o cenário 2, o cliente consegue produzir mais energia para cobrir consumo de energia durante o período solar, em mais de 90%, mas em contrapartida haverá injeção de energia na rede elétrica. Tanto o cenário 1 como cenário 2 apresentam ser viáveis, tendo em conta que em termos de custo de investimento o cenário 1 é mais viável e também apresenta um menor período para recuperação do investimento feito. Com a entrada em vigor do DL nº 54/2018, o cenário 2 é também muito interessante, tendo em conta que, para sistemas com potência total instalada superior a 400 W, a tarifa de venda de eletricidade à rede nos momentos em que se registre um excedente de energia produzida face a consumida, é igual ao custo evitado de central térmica do Sistema Eléctrico Nacional de Cabo Verde, que varia entre 6 a 10 ECV.

Pretende-se com este Simulador que o público-alvo passe a ter uma ideia de como irá ser o sistema fotovoltaico mediante a simulação realizada, antes investir e/ou consultar empresas especialistas da área. Além de obter informações pertinentes sobre os principais indicadores, como a potência do sistema PV, a potência do inversor, a quantidade de painéis, o CO₂ evitado, o custo economizado, o investimento do sistema e o período de retorno do capital investido. Tudo isto vai permitir que o interessado faça um investimento mais assertivo, e espera-se, que este simulador propicie o investimento em sistemas de autoconsumo e favoreça o aumento de energias renováveis na matriz energética de Cabo Verde, proporcionado o alcance da meta de 50% de energias renováveis em 2030.

Referências

- [1] V. S. d. Santos, “MUNDO EDUCAÇÃO,” *Impacto Ambiental*, pp. <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/biologia/impactos-ambientais.htm>, acessado em 14 /03/ 2022.
- [2] Cursos IPED, “energias renováveis,” *Vantagens de energias renováveis para o meio ambiente*, pp. <https://www.iped.com.br/materias/ambiental/vantagens-energias-renovaveis-meio-ambiente.html>, acessado em 10 /05/ 2022.
- [3] L. B. Teixeira, “Políticas Renováveis,” *Energias Renováveis em Cabo Verde*, pp. <http://politicarenovaveis.blogspot.com/2010/01/as-energias-renovaveis-em-cabo-verde.html>, acessado em 04 /01/ 2022.
- [4] F. S. Cabral, “Energias Renováveis,” *As Energias Renováveis e o Mercado*, p. https://rr.sapo.pt/artigo/77584/as_energias_renovaveis_e_o_mercado, acessado em 04 /04/ 2022.
- [5] NeoSolar(s.d), “Sistema Solar Fotovoltaico,” em *NeoSoalar-energia*, São Paulo s.p Brasil, Rua Coronel Paulino Carlos, 2016.
- [6] P. Energia, “Energias Renováveis,” *Energia Solar*, pp. Recuperado de <https://www.portal-energia.com>, acessado em 08 /01/ 2022.
- [7] NeoSolar(s.d), “Funcionamento e composição de sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica,” em *NeoSolar-Energia*, São Paulo,SP.Brasil Rua Coronel Paulino Carlos, 2017.
- [8] E. Solar, “Tecnologia dos modulos solar fotovoltaico,” *tipos dos modulos solar fotovoltaico*, pp. Recuperado de <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>., acessado em 11 /05/ 2022.
- [9] Portal Solar LTDA, “Simulador Solar,” em *Simulador Solar Fotovoltaico*, Cidade de São Paulo, Estado de São Paulo, Rua Barão do Triunfo 612, Conjunto 1509, acessado em 24 /02/ 2022.
- [10] edp Portugal, “edp energia de Portugal,” *Simulador Solar da edp*, pp. <https://www.edp.pt/particulares/servicos/energia-solar/simulador/>, acessado em 02 /04/ 2022
- [11] ABSOLAR, “aceleração de energia solar fotovoltaico no mundo,” *energias solar fotovoltaico*, pp. Recuperado de <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/a-aceleracao-da-energia-solar-fotovoltaica-no-mundo.html>., acessado em 14 /03/ 2022.
- [12] M. Barreto, “Plano energético Renovável Cabo Verde,” em *Gesto Energy Solutions*, Av. Cáceres Monteiro Nª10, 1ª Sul, 2011, Cabo Verde 50% Renovável - Gesto Energy, pdf

- [13] Notícia Cabo Verde, “Parque fotovoltaico na ilha de Santiago,” *Energias Renováveis*, pp. http://www.portugalcaboverde.com/news_detail.php?id=361, 02 11 2010, acessado em 20 /03/ 22.
- [14] Jornal da Construção, Diretor: José Tomaz Gomes, Editor: AECOPS, link: www.jornaldaconstrucao.pt/index.php?id=7&n=1318
- [15] Pulmonale e Global Lung Cancer, “Centrais Isolado Cabo Verde,” *Tempo Caminhado*, pp. <http://tempocaminhado.blogspot.com/2012/10/cabo-verde-reforca-energias>, acessado em 12 /03/ 2022.
- [16] República de Cabo Verde, “Energias Renováveis,” *Bulitim Oficial*, pp. http://www.ecowrex.org/system/files/repository/2011_decreto_lei_1_2011_promoção_energias_renováveis.pdf, acessado em 03 /02/ 2022.
- [17] Bolitim Oficial, “Energias Renováveis,” *Decreto lei nº54/2018*, pp. <https://kiosk.incv.cv/Pesquisa/?di=2018-10-15&df=2018-10-15>, 15 10 2018, acessado em 15 /06/ 2022.
- [18] Wikipédia, “Baixa tensão,” *Sistemas de baixa tensão nominal*, p. https://pt.wikipedia.org/wiki/Baixa_tensão, acessado em 24 /07/ 2022.
- [19] EDP Distribuição, “Guia técnico e logístico de boas práticas,” *Manual de Ligações à rede elétrica de serviço público*, p. https://provedordocliente.edp.pt/Files/PDF/Regul_Qualid_Servico_20060117.pdf, acessado em 12 /07/ 2022.
- [20] ARE.CV, “Eletricidade,” *Tariffa de eletricidade*, pp. http://www.are.cv/images/stories/combustiveis/tabela_1_e_3_-_tarifas_de_eletricidade_para_electra_e_aeb-_maro_de_2019.pdf, acessado em 20 /07/ 2022.
- [21] d. Sobral, Artist, *Linguagem Java(programação em Java)*. [Art]. Pearson Education, 2007.
- [22] DevMedia, Artist, *Propriedade de palletes de componentes em java netbeans*. [Art]. Java Swing, 2015.
- [23] Imagens, “Imagens de Palletes de componentes em Java,” *Swing Java*, p. Recuperado <https://www.bing.com/images/search?q=+imagem++do+componente+JButton++em+java+netbeans+&FORM=HDRSC2>, acessado em 12 /03/ 2022.
- [24] SystML, “System Modeling Language,” *System Modeling Language UML*, pp. recuperado de - <http://www.omgsysml.org/>, acessado em 13 /04/ 2022.

- [25] F. Pereira, “Dimensionamento de sistema PV autónomo para uma moradia unifamiliar,” em *Instituto NCB*, Portugal, 2017.
- [26] J. Carneir, “Dimensionamento de sistema fotovoltaico autónomo e conectado à rede,” recuperado:<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16965/1/DIMENSIONAMENTO%20DE%20SISTEMAS%20FOTOVOLTAICOS.pdf>., acedido em 15 /04/ 2022.
- [27] T. V. e. Costa, “Estudo de Sistemas de Produção,” Telma Ventura e Costa, Porto, Portugal, 29 de Julho de 2016.