



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
MESTRADO ACADÊMICO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

SHAKIL BONNET JOSSUB RIBEIRO

DIMENSIONAMENTO E SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO
EÓLICO-FOTOVOLTAICO PARA O ACIONAMENTO DE UMA PLANTA DE
DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE REVERSA

FORTALEZA

2020

SHAKIL BONNET JOSSUB RIBEIRO

DIMENSIONAMENTO E SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO
EÓLICO-FOTOVOLTAICO PARA O ACIONAMENTO DE UMA PLANTA DE
DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE REVERSA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Engenharia Elétrica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Elétrica. Área de Concentração: Sistema de Energia Elétrica

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R372d Ribeiro, Shakil Bonnet Jossob.

Dimensionamento e simulação de um sistema híbrido eólico-fotovoltaico para o acionamento de uma planta de dessalinização por osmose reversa / Shakil Bonnet Jossob Ribeiro. – 2019.
119 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho.

1. Sistema Híbrido. 2. Eólico. 3. Fotovoltaico. 4. Osmose Reversa. I. Título.

CDD 621.3

SHAKIL BONNET JOSSUB RIBEIRO

DIMENSIONAMENTO E SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO
EÓLICO-FOTOVOLTAICO PARA O ACIONAMENTO DE UMA PLANTA DE
DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE REVERSA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Engenharia Elétrica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Elétrica. Área de Concentração: Sistema de Energia Elétrica

Aprovada em: 31 de Janeiro de 2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de
Carvalho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Giovanni Cordeiro Barroso
Universidade Federal do Ceará (UFC-DEE)

Prof. Dr. Francisco Kleber de Araújo Lima
Universidade Federal do Ceará (UFC-DEE)

Prof. Dr. Elissandro Monteiro do Sacramento
Instituto Federal de Educação do Ceará (IFCE)

Agradeço, a Deus pelas bênçãos derramadas sobre a minha vida, a minha esposa Gabrielle Santiago, que foi a minha sustentação nesta caminhada e minha filha Thawana Ribeiro e a minha mãe Paula Morais pelo amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus, pela vida, proteção, por responder às minhas orações e por tudo que me proporciona nesta vida.

A minha família, por suportar a minha ausência, nesta caminhada e em especial a minha esposa, Gabrielle Santiago Ribeiro você é um presente de Deus, muito obrigado, minha filha Thawana Santiago Ribeiro, meu maior tesouro e a minha mãe Paula Morais, minha fortaleza.

Ao Prof. Paulo Cesar Marques de Carvalho, pelas orientações, ensinamentos e incentivos durante esses dois anos do Mestrado, com certeza vou carregar seus ensinamentos para a vida.

Aos participantes da banca examinadora, professores Giovanni Cordeiro Barroso, Francisco Kleber de Araújo Lima e Elissandro Monteiro do Sacramento pelas valiosas colaborações e sugestões.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo financiamento do projeto **“Previsão de potencial eólico visando operação integrada ótima de unidades geradoras de eletricidade: estudo de caso para o Nordeste do Brasil”** e por fornecer os dados necessários para a realização deste trabalho.

Ao grupo do Laboratório de Energias Alternativas (LEA) que compartilharam experiências. A todos os servidores (docentes e técnicos administrativos) do Departamento Engenharia Elétrica e da Biblioteca Central da Universidade Federal do Ceará.

Á minha família Moçambique que mesmo longe manda forças e apoio emocional nas horas mais difíceis, á família de Fortaleza e Redenção aqui representada por Rosângela Custódio uma segunda mãe que me apoiou nesta caminhada.

Finalmente, agradecer a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a conclusão desse trabalho.

“Não há paixão em viver acomodado - em se contentar com uma vida menor do que aquela que você é capaz de viver.”

(Nelson Mandela)

RESUMO

A presente dissertação apresenta o dimensionamento e simulação de um Sistema Híbrido (SH) Eólico - Fotovoltaico (EO-FV) para acionar uma planta de dessalinização por Osmose Reversa (OR) com carga de 200 W e 2 kW programada para funcionar no período de 8 horas por dia. O desempenho do SH é analisado sob dados climáticos (irradiação solar e velocidade do vento) típicos de Petrolina e Parnaíba durante o período de um ano, representando o interior e litoral do Nordeste brasileiro respectivamente. O objetivo do trabalho é demonstrar uma metodologia de dimensionamento técnico – financeiro para uma planta de OR acionada por SH para dessalinização de água salobra com a melhor relação custo/benefício no preço final do m³ de água potável produzido. O software HOMER é utilizado no dimensionamento técnico – financeiro do SH e os resultados são utilizados para otimizar a planta de OR, tendo em vista o custo mínimo por metro cúbico (R\$/m³) de água potável produzida. Numa segunda etapa, o software WAVE é utilizado para simular a planta de OR, sendo as características principais o tipo de água, sendo esta de poço (salobra) com salinidade de 1.500 mg/L e uso da membrana ECO PRO-440i adequada para a pressão e vazão ideal da planta. A planta de OR de 200 W apresenta uma estrutura de 1 vaso de pressão com 1 membrana, com um consumo de 9,79 kWh/m³ de água com salinidade de 377,7 mg/L. De modo a suprir essa demanda Petrolina e Parnaíba apresentam um SH EO-FV com Custo de Energia (COE) de R\$ 3,74 e 3,63 por kWh, resultando em um Custo específico de Produção (CEP) de R\$ 33,95 e 32,96 por m³ respectivamente. Para carga de 2 kW apresenta a planta de OR apresenta uma configuração com dois estágios, uma estrutura de 1 vaso de pressão com 1 membrana por estágio, com um consumo de 6,02 kWh/m³ de água com salinidade de 163,2 mg/L. Para abastecer a segunda carga Petrolina e Parnaíba apresenta um SH EO-FV com COE de R\$ 0,82 e 0,81 por kWh, resultando em um CEP de R\$ 5,33 e 5,27 por m³ respectivamente. Concluindo que a configuração com melhor relação custo/benefício é a planta de OR de 2 kW de Parnaíba, situação na qual fornece uma produção diária de água potável de 93,12 m³, abastecendo 6200 pessoas diariamente, apresentando um custo específico competitivo de R\$ 5,27/m³ (R\$ 0,105/20L), inferior inclusive aos custos de obtenção do insumo por outros meios, tais como a água mineral comercializada a R\$ 187,50/m³ (R\$ 3,75/20L) e a água tratada de carros-pipa, vendida a R\$ 35,00/m³ (R\$ 0,70/20L), em média.

Palavras-chave: Sistema Híbrido. Eólico. Fotovoltaico. Osmose Reversa.

ABSTRACT

This dissertation presents the sizing and simulation of a Wind - Photovoltaic (W-PV) Hybrid System (HS) to drive a Reverse Osmosis (RO) desalination plant (DP) programmed to operate in the period of 8 hours per day. The HS performance is analyzed under climatic data (solar irradiation and wind speed) typical of Petrolina and Parnaíba over a period of one year, representing the Brazilian interior and coast respectively. The objective of the work is to demonstrate a methodology of technical - financial dimensioning for an RO plant powered by HS for brackish water desalination with a better cost / benefit ratio in the final price of m^3 of drinking water produced. The HOMER software is used in the HS financial - technical dimensioning and the results are used to optimize the RO plant, considering the minimum cost per cubic meter ($R\$/m^3$) of produced potable water. In a second step, the WAVE software is used to simulate the RO plant, the main characteristics being the type of water, this being a well (brackish) with salinity of 1,500 mg/L and use of the ECO PRO-440i membrane suitable for ideal plant pressure and flow. The 200 W RO plant has a structure of 1 pressure vessel with 1 membrane, with a consumption of $9.79 \text{ kWh}/m^3$ of water with 377.7 mg/L of salinity, to supply this load Petrolina and Parnaíba present an HS W-PV with Energy Cost (COE) of R\$ 3.74 and 3.63 per kWh, resulting in a Specific Production Cost (SPC) of R\$ 33.95 and 32.96 per m^3 respectively. For 2 kW load the Ro plant features a two-stage configuration, a structure of 1 pressure vessel with 1 membrane per stage, with a consumption of $6.02 \text{ kWh}/m^3$ of water with 163,2 mg/L of salinity. To supply the second cargo Petrolina and Parnaíba has an HS W-PV with COE of R\$ 0.82 and 0.81 per kWh, resulting in a CEP of R\$ 5.33 and 5.27 per m^3 respectively. Concluding that despite the approximate results, the configuration that brings the best cost / benefit ratio is the 2 kW RO plant in Parnaíba, a situation in which it provides a daily production of drinking water of 93.12 m^3 , presenting a specific competitive cost of R\$ 5.27/ m^3 (R\$ 0.105/20L), even lower than the costs of obtaining the input by other means, such as mineral water sold at R\$ 187.50/ m^3 (R\$ 3.75/20L) and water treated by tankers, sold at R\$ 35.00/ m^3 (R\$ 0.70/20L), on average.

Keywords: Hybrid system. Wind. Photovoltaic. Reverse Osmosis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema da destilação solar.	23
Figura 2 – Processo de eletrodialise.	25
Figura 3 – Processo de osmose natural e de Osmose Reversa (OR).	25
Figura 4 – Membrana no processo de OR.	26
Figura 5 – Esquemático simples de uma planta de dessalinização via OR.	27
Figura 6 – Principais substâncias que causam danos às membranas.	28
Figura 7 – Distribuição da capacidade instalada mundial por tecnologia no ano de 2016.	29
Figura 8 – Tipo de ER em dessalinizadores de pequena escala mundial no ano de 2016.	30
Figura 9 – Esquemático de um planta D-EO.	32
Figura 10 – Esquemático de uma planta D-FV.	33
Figura 11 – Esquemático de um planta D-EO-FV.	33
Figura 12 – Esquemático de um SH EO – FV.	34
Figura 13 – Locais das estações de medição.	44
Figura 14 – Velocidade média do vento em Petrolina (20 m).	45
Figura 15 – Irradiação média global em Petrolina.	46
Figura 16 – Velocidade média mensal do vento em Parnaíba (20 m).	47
Figura 17 – Irradiação média global em Parnaíba.	47
Figura 18 – Fator de Capacidade Eólico por Estado 2018.	49
Figura 19 – Modelo do SH implementado.	53
Figura 20 – Fluxograma do HOMER.	54
Figura 21 – Custo da planta FV por faixa de potência de instalação.	56
Figura 22 – Aerogerador ELV-H2.7 - 0.5 kW.	57
Figura 23 – Fluxograma do WAVE.	59
Figura 24 – Membrana ECO PRO-440i.	61
Figura 25 – Bomba Shurflo 2088.	62
Figura 26 – Bomba Ferrari - 2 kW.	63
Figura 27 – Perfil de potência mensal (FV).	66
Figura 28 – Perfil de potência mensal (AG).	66
Figura 29 – Eletricidade gerada mensal (Combinação EO-FV).	67
Figura 30 – Nível de carga de bateria (%).	68
Figura 31 – Perfil de carga de bateria (%).	69

Figura 32 – Perfil anual do SH.	70
Figura 33 – Potência FV mensal.	72
Figura 34 – Potência EO mensal.	73
Figura 35 – Eletricidade gerada mensal (Combinação EO-FV).	74
Figura 36 – Nível de carga de bateria (%).	75
Figura 37 – Perfil de carga de bateria (%).	76
Figura 38 – Perfil anual do SH.	77
Figura 39 – Potência FV mensal.	81
Figura 40 – Potência EO mensal.	81
Figura 41 – Eletricidade gerada mensal (Combinação EO-FV).	83
Figura 42 – Nível de carga de bateria (%).	84
Figura 43 – Perfil de carga de bateria (%).	85
Figura 44 – Perfil anual do SH.	86
Figura 45 – Novembro - Perfil no abastecimento da carga.	87
Figura 46 – Potência FV mensal.	89
Figura 47 – Potência EO mensal.	90
Figura 48 – Eletricidade gerada mensal (Combinação EO-FV).	91
Figura 49 – Nível de carga de bateria (%).	92
Figura 50 – Perfil de carga de bateria (%).	93
Figura 51 – Perfil anual do SH.	94
Figura 52 – Janeiro - Perfil no abastecimento da carga.	95
Figura 53 – Configuração da Planta de OR de Petrolina (200 W).	97
Figura 54 – Configuração da Planta de OR de Petrolina (2 kW)	99
Figura 55 – Comparativo do preço da água (20L)	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens dos principais métodos de dessalinização	31
Tabela 2 – Artigos do HOMER	40
Tabela 3 – Comparativo dos dados de irradiação.	48
Tabela 4 – Comparativo dos dados de velocidade do vento.	48
Tabela 5 – Especificações do desempenho típico da motobomba SHURFLO 2088.	63
Tabela 6 – Resultados da validação dos projetos.	64
Tabela 7 – Sumário do SH EO-FV em Petrolina	65
Tabela 8 – Custos do SH EO-FV em Petrolina	65
Tabela 9 – Dados de geração de energia elétrica do SH EO-FV de Petrolina.	66
Tabela 10 – Sumário do SH EO-FV em Parnaíba	71
Tabela 11 – Custos do SH EO-FV em Parnaíba	71
Tabela 12 – Dados de geração de energia elétrica do SH de Parnaíba.	72
Tabela 13 – Resultados da validação dos projetos.	79
Tabela 14 – Sumário do SH EO-FV em Petrolina	79
Tabela 15 – Custos do SH EO-FV em Petrolina	80
Tabela 16 – Dados de geração de energia elétrica do SH de Petrolina.	80
Tabela 17 – Sumário do SH EO-FV em Parnaíba	88
Tabela 18 – Custos do SH EO-FV em Parnaíba	88
Tabela 19 – Dados de geração de energia elétrica do SH de Parnaíba.	89
Tabela 20 – Resultados da planta de dessalinização - OR.	98
Tabela 21 – Comparação de variáveis.	98
Tabela 22 – Resultados da planta de dessalinização - OR.	100
Tabela 23 – Comparação de variáveis.	100

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG	Aerogerador
BEN	Balanço Energético Nacional
CA	Corrente Alternada
CaC	Célula a Combustível
CC	Corrente Contínua
CEE	Consumo específico de eletricidade
CEP	Custo específico de Produção
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica da Eletrobrás
CNPQ	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COE	Custo de Energia
CV	Compressão a vapor
D	Diesel
DME	Destilação multi-efeito
DS	Destilação Solar
ED	Eletrodiálise
EO	Eólico
EO-FV	Eólico - Fotovoltaico
ER	Energia renovável
ETG	Energia Total Gerada
FC	Fator de capacidade
FV	Fotovoltaico
GA	<i>Genetic Algorithm</i> - Algoritmo Genético
HOGA	<i>Hybrid optimization by genetic algorithms</i> - Otimização Híbrida por Algoritmo genético
HOMER	<i>Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources</i> - Modelo de Otimização Híbrida para Múltiplos Recursos Energéticos
IDSME	Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá
IGH	Irradiação Global Horizontal
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LABSOLAR	Laboratório de Energia Solar
LPSP	<i>Loss of Power Supply Probability</i> - Probabilidade de perda de fonte de alimentação

LPT	Luz Para Todos
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
NTU	Turbidez em Níveis de Turbidez
OMS	Organização Mundial da Saúde
OR	Osmose Reversa
PIB	Produto Interno Bruto
PRS	Percentual de rejeição de sais
PSO	<i>Particle Swarm Optimization</i> - Otimização por Enxame de Partícula
ROSA	<i>Reverse Osmosis System Analysis</i> - Sistema de Análise de Osmose Reversa
SH	Sistema Híbrido
SOC	<i>State of Charge</i> - Estado da carga
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
UFMA	Universidade Federal do Maranhão
UFPA	Universidade Federal do Pará
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura
Unifap	Universidade Federal do Amapá
VPL	Valor presente líquido
WAVE	<i>Water Application Value Engine</i> - Ferramenta de valor de aplicação de água

LISTA DE SÍMBOLOS

d	Distância em metros
I	Corrente elétrica
k	Constante de Boltzmann's
K	Eficiência de irradiação
P	Potência
R	Resistência
S_i	Potência do sinal na entrada
S_o	Potência do sinal na saída
t	Tempo
V	Tensão
$\Delta\Pi$	Pressão osmótica
ΔP	Perda de carga
P_f	Gradiente de pressão
P_a	Pressão de alimentação
P_c	Pressão do concentrado
P_p	Pressão do permeado
Q_p	Fluxo do permeado
Q_a	Fluxo da alimentação
C_a	Concentração de sal da alimentação
C_p	Concentração de sal do permeado
Y	Rendimento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Motivação	19
1.2	Objetivo Geral	20
1.2.1	<i>Objetivos Específicos</i>	20
1.3	Metodologia Geral	20
1.4	Estrutura do trabalho	21
2	DESSALINIZAÇÃO	22
2.1	Tecnologias de dessalinização	22
2.2	Osmose reversa (OR)	25
2.3	Comparações entre as tecnologias de dessalinização	29
3	SISTEMAS HÍBRIDOS	32
3.1	Tipos de Sistemas Híbridos	32
3.2	Componentes de um sistema híbrido	34
3.2.1	<i>Unidades de geração</i>	34
3.2.2	<i>Sistemas de armazenamento de energia</i>	35
3.2.3	<i>Sistemas de controle</i>	36
3.3	Experiência Mundial	38
3.4	Experiência Brasileira	41
4	RECURSOS SOLAR EÓLICO	44
4.1	Recursos energéticos de Petrolina	44
4.2	Recursos energéticos de Parnaíba	46
4.3	Análise dos recursos energéticos - Petrolina e Parnaíba	48
5	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA HÍBRIDO	50
5.1	MÉTODO 1: Dimensionamento técnico-financeiro	51
5.2	Método 2: HOMER	53
5.3	Análise Financeira	55
6	WAVE	59
6.1	Projeto no WAVE	59
6.2	Parâmetros de entrada	60
6.3	Componentes da planta de dessalinização	60

7	RESULTADOS	64
7.1	Validação do dimensionamento dos Projetos - 200 W	64
7.2	Resultados de Petrolina	65
7.3	Resultados de Parnaíba	71
7.4	Análise dos Resultados	78
7.5	Validação do dimensionamento dos Projetos - 2 kW	79
7.6	Resultados de Petrolina	79
7.7	Resultados da Parnaíba	88
7.8	Análise dos Resultados	96
8	RESULTADOS WAVE	97
8.1	Planta de Dessalinização (200 W)	97
8.2	Planta de Dessalinização (2 kW)	99
8.3	Análise dos Resultados	101
9	CONCLUSÕES	102
9.1	Sugestões de Trabalhos Futuros	104
9.2	Lista de trabalhos aceites ou publicados	104
	REFERÊNCIAS	105
	APÊNDICES	111
	ANEXOS	111
	ANEXO A – Equipamentos usados no projeto	111
	ANEXO B – Sistema Aerogerador ELV-H2.7 - 500 W - Off-Grid	112
B.1	ESPECIFICAÇÃO DO PRODUTO	112

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) 2018 o percentual de penetração de Energia renovável (ER) na matriz de energia elétrica do Brasil vem crescendo ano a ano (EPE, 2018). Adicionalmente, o Brasil é um dos signatários do Acordo de Paris e, segundo o Greenpeace, pode ter até 2050 uma participação de 100% das fontes renováveis em sua matriz, zerando emissões de gases de efeito estufa do setor (SCHAEFFER, 2016).

No setor Fotovoltaico (FV) em 2018 o Brasil instalou 1,2 GW, totalizando 2,4 GW de capacidade instalada acumulada, representando assim 1,2% da matriz energética brasileira. Como exemplo de produção, no dia 29 de janeiro de 2019 foi atingido um recorde de geração com uma média diária de 389 MW médios com fator de capacidade de 33%, e máxima diária de 1.072 MW as 11h21 com fator de capacidade instantâneo de 92% no dia 09 de março de 2019 (ABSOLAR, 2019).

Ainda em 2018, o Brasil ficou na 8ª posição em relação à capacidade Eólico (EO) acumulada mundial com 14.707 MW, com a expectativa de evolução da capacidade instalada até 19.024,3 MW em 2024 em função das contratações já realizadas nos leilões regulados. Com o crescimento de 2.655 MW, a geração eólico-elétrica passa a ocupar o 3º lugar em participação na matriz energética brasileira, tendo atingido um fator de capacidade médio em 2018 de 42,2% (ABEOLICA, 2018).

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) o Nordeste brasileiro tem a melhor irradiação solar (Wh/m^2) seja comparado com alguns países europeus ou em relação às demais regiões do Brasil, além de apresentar a menor variação ao longo do ano. A capacidade de geração solar nesta região se destaca por apresentar a menor variabilidade interanual, com valores extremos entre 5,39 e 5,59 kWh/m^2 , e 50% das médias anuais contidas no intervalo entre 5,43 e 5,50 kWh/m^2 (PEREIRA *et al.*, 2017).

Plantas de geração de energia elétrica que combinam duas ou mais diferentes fontes são chamadas de Sistema Híbrido (SH). A eletricidade gerada por um SH pode ter diversas finalidades, sendo uma delas a dessalinização da água. Um desafio para várias regiões do mundo é o acesso à água potável, pois apenas, aproximadamente, 2,5% da água do planeta é considerada adequada ao consumo humano. No entanto, desta pequena parcela 79,16% estão nas geleiras, ou seja, indisponíveis ao consumo imediato. Diante do problema, a água de característica salobra passou a ser uma importante fonte para a produção de água potável nas regiões onde os recursos hídricos são limitados (EYVAZ; YÜKSEL, 2018).

A disponibilidade de água potável em todo o mundo vem diminuindo, de forma a merecer atenção especial de entidades internacionais e da comunidade científica. Esse assunto vem sendo debatido nos últimos anos em todo o mundo e alerta a humanidade para a necessidade da procura de novas formas de suprir a demanda de água potável. Embora o problema seja previsto tanto em países industrializados como em países em desenvolvimento, os efeitos da falta de água são mais sentidos nos últimos, onde a infra-estrutura é mais deficiente.

O relatório da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) sobre o Desenvolvimento de Recursos Hídricos (WWDR4 – *World Water Development Report*) prevê que em 2030 a crise de água piorará em todo mundo, indicando que haverá 40% menos água potável do que o necessário para o consumo e o mundo ampliará as fatias de população vivendo com falta de água, caso não tome medidas drásticas para melhorar a gestão do recurso natural. Dessa forma, o relatório estima que a escassez pode atingir 45% da população da Terra em 2050.

No Brasil um exemplo desse problema é encontrado no Polígono das Secas, localizado preponderantemente na região semi-árida nordestina. A área afetada representa 60% de todo território da região Nordeste, ou cerca de 950.000 km^2 . A problemática da escassez de água potável no Nordeste não se restringe à baixa precipitação de chuva, mas uma irregular distribuição temporal e espacial (ABAS, 2003).

Uma das alternativas para enfrentar o problema da escassez de água nessas regiões é a prática da dessalinização de água salobra ou salgada, visando tornar este recurso adequado ao consumo humano e para o uso industrial e de irrigação. A dessalinização é um processo de remoção de sal da água para produzir água potável, definida pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como sendo água contendo menos do que 500 mg/L de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) (COTRUVO, 2017).

Em áreas densamente povoadas, plantas de dessalinização em larga escala podem ser construídas para proporcionar abastecimento adequado de água. Embora a energia para alimentar estas plantas seja muitas vezes um fator limitativo, cerca de 30 a 50% do custo de produção da água (BURN *et al.*, 2015), estas áreas têm uma série de potenciais soluções. A combinação de plantas de dessalinização com fontes renováveis de energia apresenta-se como uma opção viável (MENDONÇA *et al.*, 2017).

Existem várias tecnologias de dessalinização, entretanto a dessalinização por Osmose Reversa (OR) é a mais difundida e a que tem maior crescimento, ocupando cerca de 65% de

capacidade instalada mundial (BURN *et al.*, 2015). O processo de OR consiste em aplicar uma pressão dinâmica para vencer uma pressão osmótica sobre uma solução de sal, conhecida também como água de alimentação, através de membranas seletivas que retêm a maioria dos sais e microrganismos e deixa passar a água com pouco sal (PHUC *et al.*, 2017).

Segundo Alkaisi *et al.* (2017) e Karagiannis e Soldatos (2008), plantas de OR acionadas por SH Eólico - Fotovoltaico (EO-FV) produzindo até 20 m³/dia, com custos menores do que R\$ 48,38 /m³ de água potável apresentam uma boa relação custo/benefício considerando o mercado atual.

Neste contexto, o objetivo desta dissertação é demonstrar uma metodologia de dimensionamento técnico – financeiro para uma planta de OR acionada por SH para dessalinização de água salobra com a melhor relação custo/benefício no preço final do m³ de água potável produzido.

Diante disso é analisada uma metodologia de dimensionamento técnico – financeiro de um SH EO-FV com armazenamento em bateria com o uso do software *Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources* - Modelo de Otimização Híbrida para Múltiplos Recursos Energéticos (HOMER), para as localidades de Parnaíba e Petrolina, representando condições climáticas do litoral e interior do Nordeste brasileiro, respectivamente. Por fim é realizada a simulação de uma planta de dessalinização por OR no programa *Water Application Value Engine* - Ferramenta de valor de aplicação de água (WAVE) e apresentado o custo final de produção de água potável.

A contribuição desta dissertação é demonstrar o resultado de uma aplicação de SH para acionar uma planta de dessalinização de OR para as regiões do litoral e interior do Nordeste, baseado em dados reais para os casos de Petrolina e Parnaíba.

1.1 Motivação

O histórico de estiagem em determinadas regiões do mundo e da perspectiva de aumento da demanda por água potável em tais regiões nos próximos anos, forneceu a motivação para estudar alternativas que pudessem ser utilizadas como meio de amenizar o impacto da escassez de água potável. A tecnologia escolhida para tal estudo foi a de dessalinização da água por osmose reversa acionada por um SH EO-FV.

1.2 Objetivo Geral

Dimensionamento e simulação de um SH EO-FV para acionamento de uma planta de dessalinização por OR para as condições do Nordeste do Brasil.

1.2.1 *Objetivos Específicos*

- Estudo da tecnologia híbrida EO-FV e de dessalinização por OR;
- Levantamento do estado da arte de unidades de OR acionadas por SH EO-FV a nível mundial;
- Dimensionamento e simulação do SH EO-FV;
- Realização uma avaliação técnico-financeira do SH e apresentação do custo benefício no preço final da água potável produzida.

1.3 Metodologia Geral

Tal pesquisa foi conduzida, primeiramente, mediante investigação do estado da arte mundial sobre tecnologias de dessalinização e as respectivas fontes de energia renováveis para acionamento. Foi selecionada a melhor tecnologia de dessalinização e a fonte de acionamento mais adequada, através de análises de variadas pesquisadas, tais como disponibilidade energética e hidráulica do local, disponibilidade de recursos financeiros, eficiência e eficácia de cada tipo de planta e atendimento aos objetivos do estudo.

O trabalho contempla a interação entre os programas HOMER e WAVE. Inicialmente foi utilizado o software HOMER para dimensionar a melhor configuração do SH EO-FV para abastecer a carga da planta de dessalinização por OR, de acordo com os recursos energéticos disponíveis nas localidades de Parnaíba e Petrolina. Em seguida, foi utilizado o programa WAVE para escolher a melhor configuração e simular o funcionamento da planta de dessalinização por OR, e apresentar o custo final da água produzida.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em 8 capítulos visando melhorar a orientação do leitor.

- Capítulo 1: Introdução
- Capítulo 2: Tecnologias de Dessalinização
- Capítulo 3: Sistemas Híbridos
- Capítulo 4: Recurso Solar-Eólico de Petrolina e Parnaíba
- Capítulo 5: Dimensionamento do SH
- Capítulo 6: Simulação da Planta de Dessalinização
- Capítulo 7: Análise dos Resultados
- Capítulo 9: Conclusões

No Capítulo 1 são descritas as motivações e objetivos que buscamos no trabalho. No Capítulo 2 é apresentada uma breve introdução às tecnologias de dessalinização. No Capítulo 3 são apresentados os principais aspectos dos SH e revisão da literatura na qual são mostradas algumas experiências no Mundo e no Brasil. No Capítulo 4 são apresentados os recursos solar-eólico de Petrolina e Parnaíba. No Capítulo 5 são apresentadas as metodologias usadas no dimensionamento do SH, juntamente com o software HOMER. No Capítulo 6 é apresentado o software WAVE e a metodologia da simulação da planta de Osmose Reversa, e a escolha dos componentes utilizados. No Capítulo 7 são realizadas as análises dos resultados dos projetos. No Capítulo 8 são apresentadas as conclusões a respeito das análises realizadas no trabalho.

2 DESSALINIZAÇÃO

A necessidade de fornecimento de água potável dos locais que enfrentam a escassez de água juntamente com preocupações ambientais têm estimulado o interesse no estudo de planta de dessalinização alimentados por energias renováveis.

Nesta secção apresenta-se um estudo atual das diferentes combinações de tecnologias de dessalinização que propõem a minimização do problema de abastecimento de água potável em diferentes regiões do mundo e as diferentes fontes de energias renováveis empregadas para o funcionamento das diferentes plantas de dessalinização

Greenlee *et al.* (2009) afirmam que dessalinização consiste na remoção ou redução da concentração de sais e sólidos dissolvidos da água salgada (mar ou salobra) para obter água doce e própria para consumo. Para além da remoção de minerais, este processo, remove ainda outros componentes químicos, orgânicos e biológicos.

2.1 Tecnologias de dessalinização

No que tange às tecnologias mundiais utilizadas para dessalinização, há uma classificação que as divide em dois grupos: tecnologias térmicas e tecnologias de membranas, ambas as quais necessitam de energia para operar e produzir água potável. Dentro desses dois grupos, existem subcategorias (processos) utilizando diferentes técnicas de dessalinização.

Segundo (BURN *et al.*, 2015) as tecnologias térmicas, que envolvem o aquecimento da água salobra e a coleta do vapor condensado para produzir água pura, são raramente usadas para dessalinização de água de poços devido ao alto custo envolvido. Os processos são: destilação solar, Destilação multi-efeito (DME) e Compressão a vapor (CV).

Por outro lado, (MILLER *et al.*, 2015) afirmam que as tecnologias de membrana, que envolvem a aplicação da água por um filme separando dois efluentes (concentrado e permeado), estão em rápida ascensão de uso, devido, principalmente, ao custo-efetivo do processo para uma larga escala de aplicação, seja de água do mar ou de poços. Os processos são: Eletrodialise (ED) e OR. Devido à não mudança do estado físico da água, o requerimento de energia nas tecnologias de membrana é mais baixo.

Dentre as técnicas, a OR, além de mais viável financeiramente, é a tecnologia mais utilizada mundialmente. A seguir, são apresentadas as seis técnicas de dessalinização anteriormente mencionadas, cujas descrições foram resumidas com o auxílio dos textos encontrados em

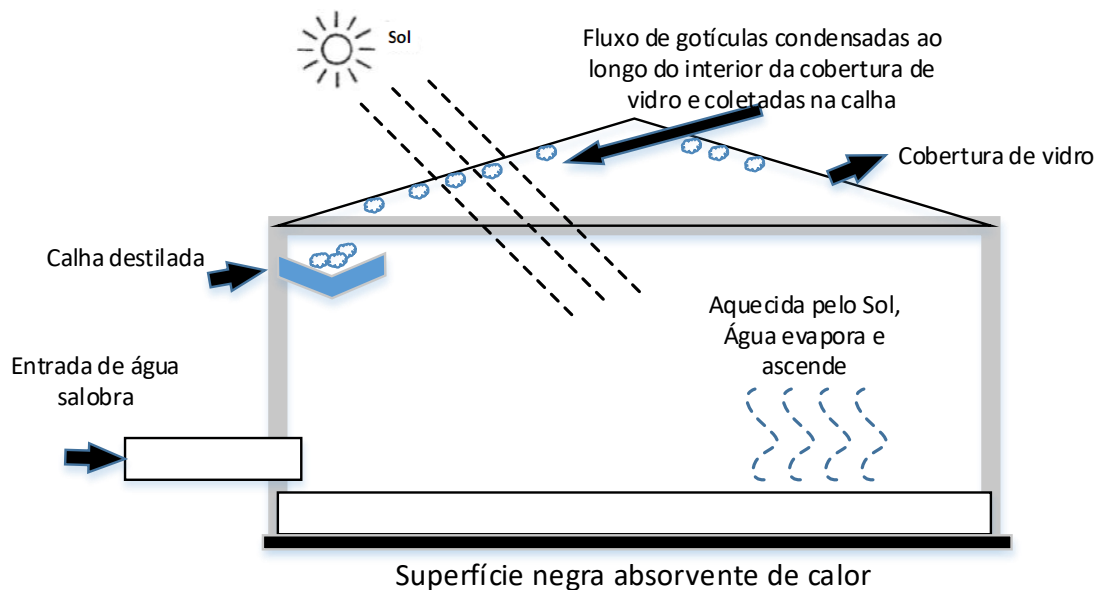
(HENTHORNE; BOYSEN, 2015) e (QASIM *et al.*, 2019).

Destilação solar (DS)

A Destilação Solar (DS) se baseia no princípio básico do efeito estufa. Em termos gerais, o aquecimento da água em um tanque produz água vaporizada sem a presença dos sais. O esfriamento do vapor causa sua condensação como água fresca, que será coletada em um local separado.

A Figura 1 apresenta o esquema da DS, no qual a radiação solar incidente é transmitida pela cobertura de vidro e absorvida, como calor, por uma superfície negra em contato com a água a ser destilada. A água, depois de aquecida, vira vapor sem a presença de sais, que ascende e é condensado na cobertura de vidro, a qual apresenta uma temperatura mais baixa por causa do seu contato com o ambiente externo. Depois de condensada, a água rola por uma calha até ser armazenada em um tanque (HENTHORNE; BOYSEN, 2015)].

Figura 1 – Esquema da destilação solar.



Fonte: Adaptado de Henthorne e Boysen (2015).

Destilação multi-efeito (DME)

He *et al.* (2015) apresentam o conceito de DME partindo do princípio que em um destilador simples, a maior parte do calor consumido se dissipa na superfície fria do condensador. Caso essa energia calórica seja reciclada de forma adequada, pode-se aumentar em grande

volume a eficiência da planta. Embora esse calor perdido não seja o suficiente para aquecer a água salobra do tanque original, ele pode ser utilizado para aquecer um segundo tanque que necessite menor quantidade de energia, a uma pressão menor, e assim sucessivamente.

A DME é esta utilizada como técnica de dessalinização desde meados do século XX, utilizando os princípios da múltipla e progressiva evaporação e condensação à pressão atmosférica reduzida. A água aquece a baixas temperaturas na medida em que a pressão diminui, tal que o vapor do primeiro efeito serve como meio de aquecimento para o segundo, e assim por diante. O desempenho da planta é diretamente proporcional à quantidade de efeitos múltiplos, mas esta é limitada a quinze ou vinte estágios, dependendo da configuração do processo no que diz respeito a questões práticas e financeiras (PHUC *et al.*, 2017).

Compressão a vapor (CV)

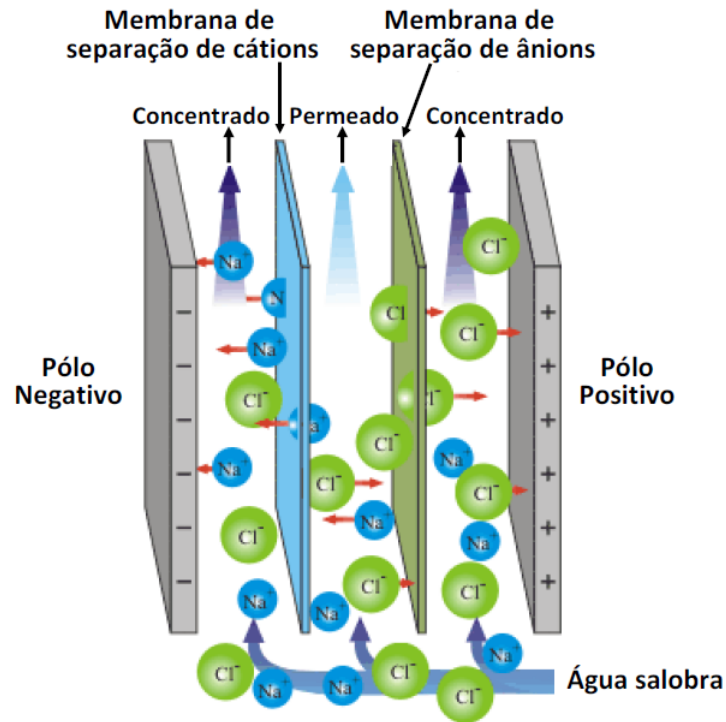
Alkaisi *et al.* (2017) citam que nas plantas de CV uma quantidade de um refrigerante circula entre pelo menos dois níveis de pressão em um condensador e um evaporador. Comprimindo o vapor de água eleva sua temperatura, o que permite ser utilizada como fonte de calor para o mesmo tanque de água que a produziu. Uma planta de CV compreende basicamente um compressor que eleva a pressão do vapor circulante, um condensador para o vapor refrigerante recebido do compressor, um dispositivo de expansão (válvula) através do qual o diferencial de pressão entre o condensador e o evaporador é mantido, e um evaporador para o líquido refrigerante recebido do condensador (HE *et al.*, 2015).

Eletrodialise (ED)

Diferentemente dos anteriormente vistos, a ED é um processo que utiliza membrana. Consiste basicamente na transferência de íons da água a ser dessalinizada através de membranas de cátions e ânions para um fluxo concentrado, as quais estão localizadas dentro de cilindros entre eletrodos potencializados por corrente contínua, conforme demonstrado por Carvalho *et al.* (2013), na Figura 2.

A ED é amplamente utilizada nos processos de dessalinização de águas salobras. A necessidade energética para seu funcionamento eleva-se na proporção em que aumenta a concentração da água alimentada, razão pela qual a ED é raramente utilizada para dessalinização de água do mar.

Figura 2 – Processo de eletrodialíse.

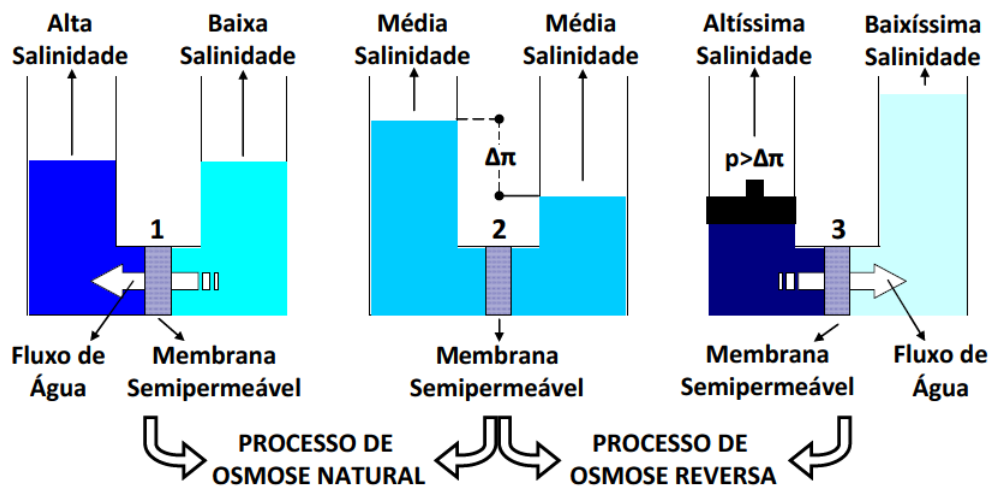


Fonte: Adaptado de: Carvalho *et al.* (2013).

2.2 Osmose reversa (OR)

Utilizada como tecnologia de dessalinização na presente dissertação, a OR é o processo oposto à osmose natural, que ocorre quando se tem dois meios com concentrações diferentes separados por uma membrana semipermeável, como visualizado na Figura 3.

Figura 3 – Processo de osmose natural e de OR.



Fonte: Oliveira (2011)

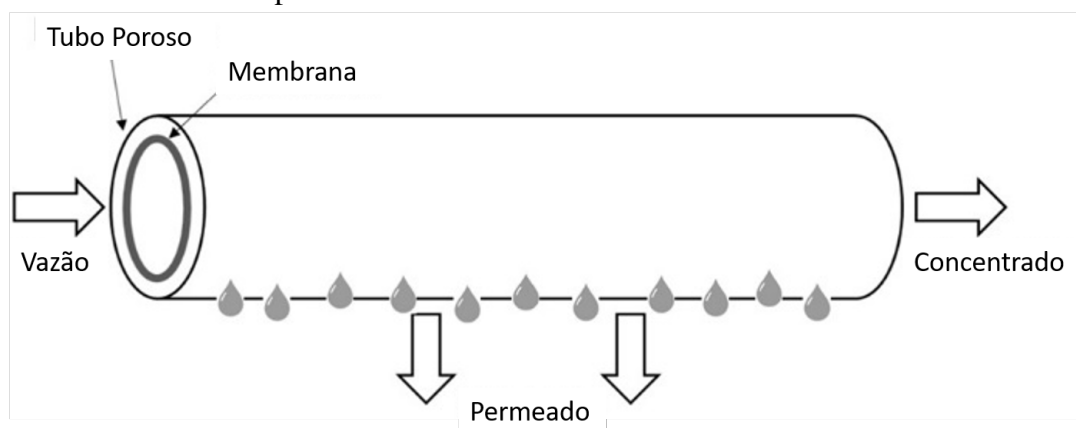
No processo natural, ocorre a passagem de água do meio menos concentrado para o

meio mais concentrado (1), até que o equilíbrio osmótico seja atingido (2), no qual surge uma pressão osmótica $\Delta\pi$.

He *et al.* (2015) citam que no processo reverso, uma pressão externa p , superior à pressão osmótica natural, é aplicada, invertendo-se o fluxo natural do solvente (água), de forma que a água é forçada a passar para o lado de concentração menor, restando um elevado grau de impurezas (3).

Como demonstrado na Figura 4 a membrana de OR, quando submetida a pressões dessa ordem, promove um fluxo tangencial que ao percorrer sua superfície realizará a separação em duas correntes distintas, sendo uma com teor de sal maior que o fluxo inicial, denominada de concentrado (ou rejeito), e a outra com teor de sal bem menor, denominada permeado (ou água fresca), este que flui através do centro da membrana e possui um elevado grau de pureza, baseado nos percentuais de rejeição da membrana utilizada .

Figura 4 – Membrana no processo de OR.



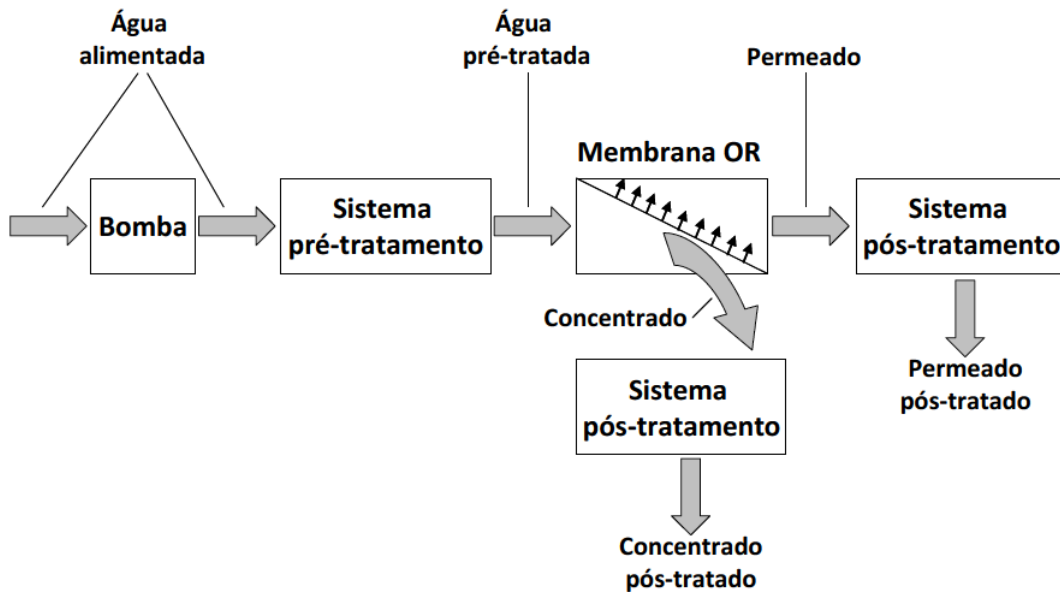
Fonte: Adaptado de Qasim *et al.* (2019)

A pressão externa requerida no lado de alta concentração de sal da membrana é, usualmente, de 30 a 60 psi para água salobra em geral e de 600 a 1.000 psi para água do mar, a qual possui uma pressão osmótica natural de aproximadamente 350 psi que deve ser superada (NOVOSEL *et al.*, 2014).

Uma planta de OR, conforme Figura 5 consiste essencialmente de quatro etapas: bombas de alta pressão, pré-tratamento, membranas e pós-tratamento, conforme características da água alimentada e finalidade de uso da água produzida.

Bombas de alta pressão. Para suprir a pressão necessária a possibilitar a passagem da água pela membrana e reter grande parte do sal presente, são necessárias bombas de alta pressão acopladas a motores elétricos, estes que fornecem energia para o funcionamento daquelas,

Figura 5 – Esquemático simples de uma planta de dessalinização via OR.



Fonte: Oliveira (2011)

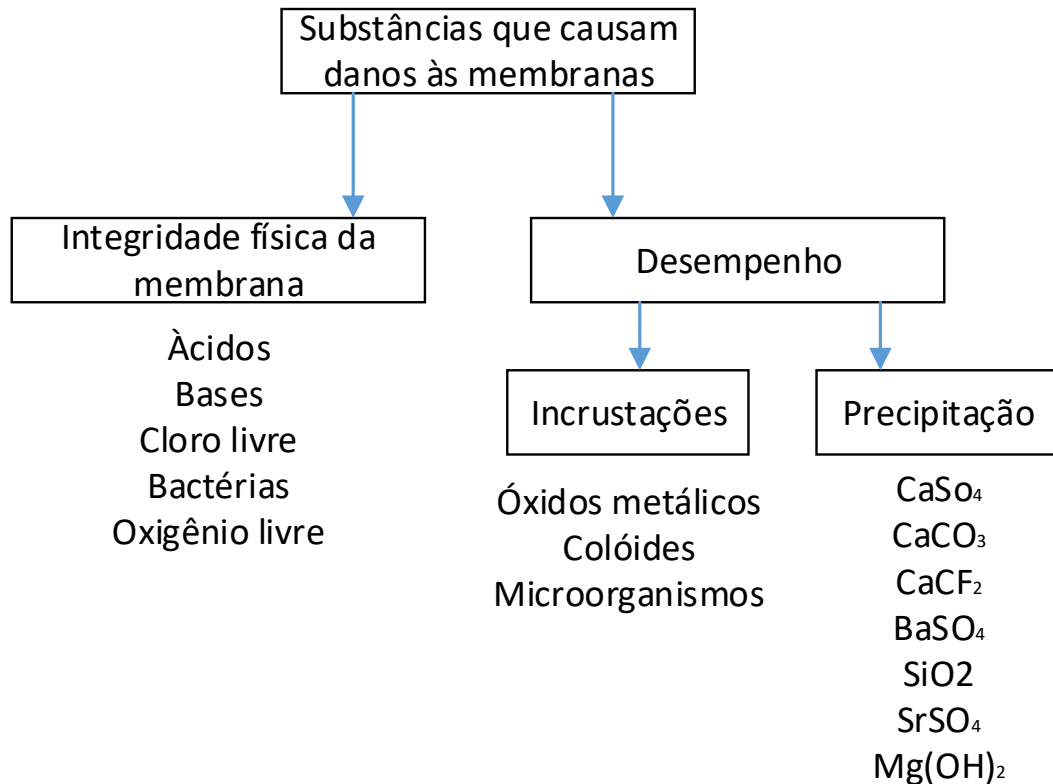
instalando-se, ainda, válvula no concentrado para garantir a pressão ideal.

Pré-tratamento. O pré-tratamento é muito importante na OR porque a superfície da membrana deve sempre permanecer limpa e dependendo da água salobra alimentada, além de sólidos suspensos, pode haver alta concentração de micro organismos, o que causa a diminuição do fluxo permeado e compromete a planta como um todo, através do efeito *fouling*, caracterizado pelo bloqueio de poros, adsorção, desenvolvimento de micro organismos (*biofouling*), formação de camada gel (GREENLEE *et al.*, 2009) e formação de precipitados que incrustam a membrana (efeito *scaling* provocado pelos compostos de CaCO_3 , Mg(OH)_2 e CaSO_4), conforme descrito em (BURN *et al.*, 2015).

Para isso, todos os sólidos suspensos devem ser removidos e a água deve ser pré-tratada tal que a precipitação de sal, crescimento microbiano, corrosão e escamação não ocorram nas membranas. A Figura 6 destaca as principais substâncias que causam problemas nos processos de OR por alteração das propriedades seletivas das membranas. Geralmente o pré-tratamento contempla filtros para retirada de sólidos, filtros de carbono para remover o cloro e odor, e filtros de resina deionizadora para filtragem química de íons.

Membranas: Em termos gerais, as membranas podem ser definidas como uma barreira que separa duas fases e que restringe, total ou parcialmente, o transporte de uma ou várias espécies químicas presentes nas fases (NOVOSEL *et al.*, 2014). Para a OR, a membrana semipermeável comporta-se como uma peneira molecular, rejeitando seletivamente quase todas as moléculas dissolvidas e permitindo somente a passagem de água pura (HE *et al.*, 2015), tendo

Figura 6 – Principais substâncias que causam danos às membranas.



Fonte: Adaptado de Li *et al.* (2019).

ainda a capacidade de separar a água de seus contaminantes, tais como sólidos dissolvidos, coloides, sólidos suspensos, bactérias, vírus e matéria orgânica.

Comercialmente, as membranas são disponibilizadas por módulos, sendo estes o conjunto de estruturas necessárias para a operação como unidade de separação. Além da membrana, o módulo contém estruturas de suporte mecânico e canais de alimentação e remoção do permeado e do concentrado, visando limitar o acúmulo de material e maximizar a superfície de contato sem contaminar o permeado com o concentrado (CARVALHO *et al.*, 2013).

Pós-tratamento: De forma análoga ao pré-tratamento, o pós-tratamento é recomendável dependendo da finalidade do uso da água produzida, principalmente pelo fato de que o processo de OR barra a maior quantidade dos sais, o que inviabilizaria o consumo humano, por exemplo. Por outro lado, como mencionado, a dessalinização gera, além do permeado, uma água residuária (concentrado) altamente salina e de poder poluente elevado, cujo destino e uso podem ou não causar grandes impactos ambientais (ALKAISI *et al.*, 2017). Devido a isto, opta-se, algumas vezes, pela utilização do pós-tratamento também no fluxo do concentrado.

Embora não seja objeto de estudo desta dissertação, é importante ressaltar a preocupação na correta disposição do concentrado, uma vez que esse fluxo residual pode causar grandes impactos ao meio-ambiente.

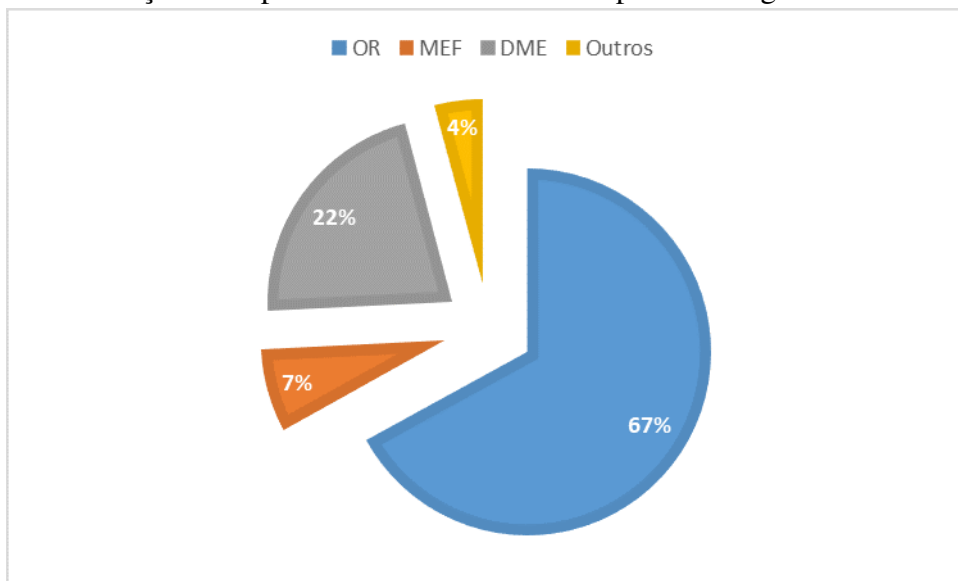
Devido à alta salinidade em que se encontra, o concentrado pode ser utilizado, em regiões semi-áridas tais como o Nordeste brasileiro, nos cultivos de acerola, nos tanques de criações de peixes e camarões, em plantações de coqueiros e misturado às rações dos animais. Outra aplicação do dejetos, conforme apresentado por (QASIM *et al.*, 2019), é no cultivo da conhecida “erva do sal” (*Atriplex nummularia*), esta que é classificada como planta halófitas a qual, além de suportar altos níveis de salinidade, acumula significativa quantidade de sais em seus tecidos.

2.3 Comparações entre as tecnologias de dessalinização

No estudo (ALKAISI *et al.*, 2017) sobre plantas de dessalinização com energias renováveis, uma comparação entre as diferentes tecnologias de dessalinização é feita, levando-se em consideração diversos aspectos, os quais serão avaliados em seguida.

Khan *et al.* (2018) mostram através da Figura 7 que a OR é a tecnologia mais utilizada em todo o mundo, presente em mais de 60% dos processos de dessalinização.

Figura 7 – Distribuição da capacidade instalada mundial por tecnologia no ano de 2016.



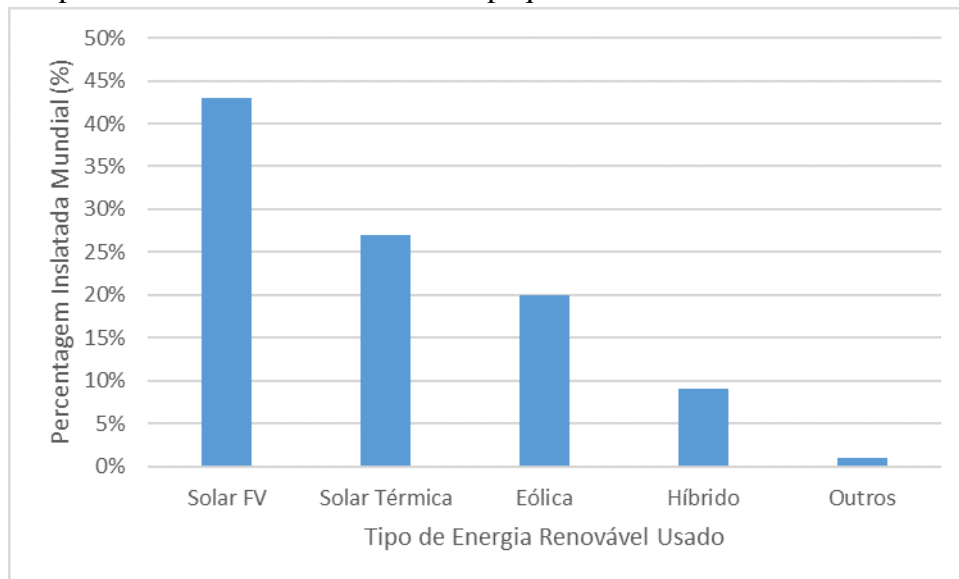
Fonte: Adaptado de Khan *et al.* (2018)

Para o comparativo dos preço final de água produzida, Karagiannis e Soldatos (2008) cita que as plantas de dessalinização por OR são divididas em termos de produção diária, sendo estas de pequena, média e grande. Em Alkaisi *et al.* (2017), estudo derivado do primeiro citado, apresenta os respectivos custos agregados a cada tipo de planta de dessalinização por OR, definido em:

- Pequena: menor de 20 m³ (R\$ 21,01 - 48.38)
- Média: entre 20 m³ e 1200 m³ (R\$ 3,65 - 6.38)
- Grande: maior que 1200 m³ (R\$ 1,22 - 2.63)

Os valores mencionados são para plantas de dessalinização acionados por SH EO-FV. A Figura 8 demonstra que a dessalinização baseada em fontes de ER como uma tecnologia para produzir água potável sem deixar pegada de carbono. Os dessalinizadores de pequena escala, que se baseiam em ER são dominados em 43% em solar FV, 27% solar térmica, 20% em EO e 10% híbridos.

Figura 8 – Tipo de ER em dessalinizadores de pequena escala mundial no ano de 2016.



Fonte: Khan *et al.* (2018)

Na Tabela 1 é apresentado um comparativo entre as vantagens e desvantagens dos processos de dessalinização mencionados.

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens dos principais métodos de dessalinização

	Vantagens	Desvantagens
DS	Baixo custo de investimento. Baixa manutenção. Exigência de baixa energia. Ambientalmente amigável.	Baixa produtividade por unidade de área.
MEF	Fácil de gerenciar e operar. Pode tratar água muito salgada até 70.000 mg / l.	Não pode operar abaixo de 60% da capacidade. Não é adequado para combinar com ER que tenham fornecimento de energia intermitente. Alto consumo de energia
DME	Pode ser operado entre 0% e 100% da capacidade Adequado para combinar com fontes de ER que fornecem energia intermitente.	Anti-escalantes necessários para interromper o acúmulo de escala nas superfícies de evaporação.
OR	Adapta-se facilmente às condições locais. O tamanho da planta pode ser ajustado (L/dia) Vantagem de custo significativa no tratamento de águas subterrâneas salobras. Pode remover a sílica. O custo do capital é 25% menor que as opções térmicas.	Requer pré-tratamentos abrangentes a serem usados para água salina alta (>3000 mg/L). Sujeira na membrana. Configuração complexa. Requer pessoal qualificado para operação e manutenção.
ED	Alta taxa de recuperação de até 94%. Membranas de vida útil mais longa (até 15 anos quando operadas adequadamente). Pode ser combinado com OR para maior recuperação de água de até 98%.	Capital elevado em comparação a OR.

Fonte: Adaptado de: (ALKAISI *et al.*, 2017)

3 SISTEMAS HÍBRIDOS

3.1 Tipos de Sistemas Híbridos

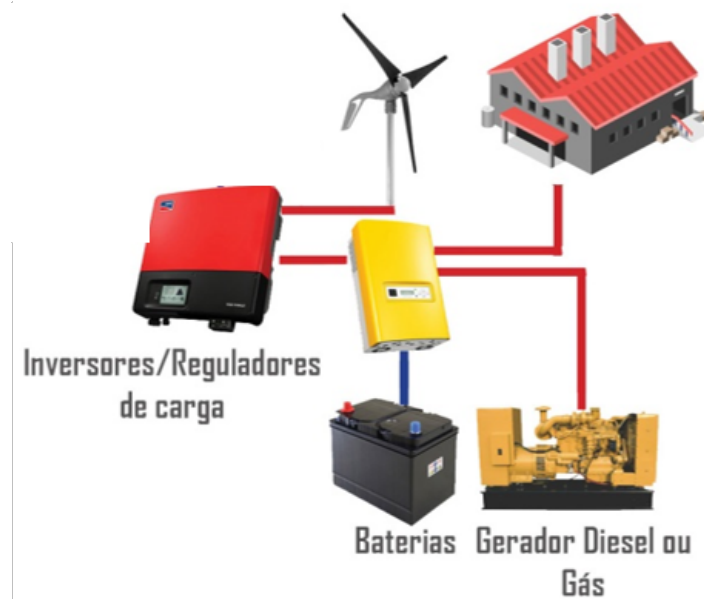
Os Sistemas Híbridos (SHs) podem ser formados por fontes de Energia Renovável (ER) ou não renováveis, podendo ter diferentes combinações. Áreas onde mais de uma fonte renovável se destaca, a possibilidade destas serem combinadas, mostra-se um cenário economicamente atrativo, confiável e flexível (PINHO *et al.*, 2008). Os principais tipos de SHs são:

- Diesel (D) – EO
- D – FV
- EO – FV– D
- EO – FV

Sistema Híbrido D-EO

Consiste de uma planta geradora de energia elétrica, formada por um ou mais Aerogerador (AG) e um gerador D, as fontes podem funcionar em paralelo ou não para atender a uma determinada carga (REKIOUA; MATAGNE, 2012). A Figura 9 apresenta um exemplo do híbrido D-EO.

Figura 9 – Esquemático de um planta D-EO.

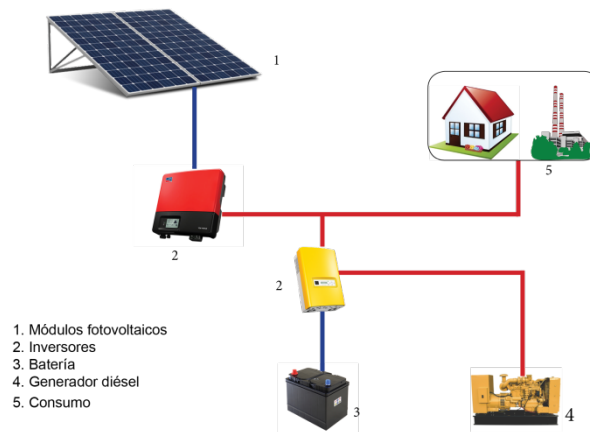


Fonte: Adaptado de Pinho *et al.* (2008).

Sistema Híbrido D-FV

Nesta planta conforme denominação, a geração FV é combinada com a D para geração de eletricidade. A constituição de um SH D-FV, Figura 10 é bem semelhante à do planta EO-D, porém com a diferença de utilizar a combinação (série/paralelo) de módulos FV em vez de AG.

Figura 10 – Esquemático de uma planta D-FV.

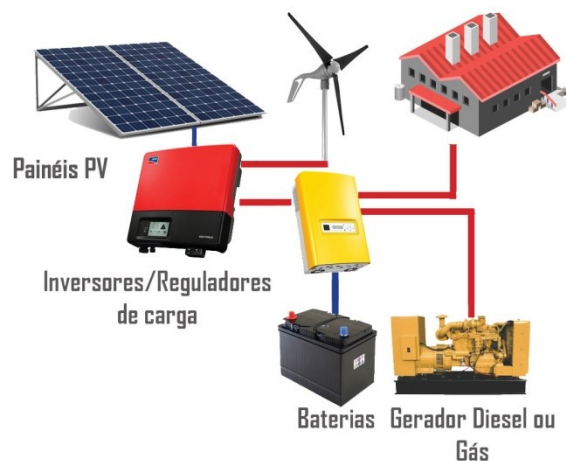


Fonte: Adaptado de Pinho *et al.* (2008).

Sistema Híbrido D-EO-FV

Pinho *et al.* (2008) cita que o SH D-EO-FV (Figura 11) por ter mais fontes de energia do que os anteriores diminui o uso do gerador D, a depender da disponibilidade das energias solar e EO.

Figura 11 – Esquemático de um planta D-EO-FV.

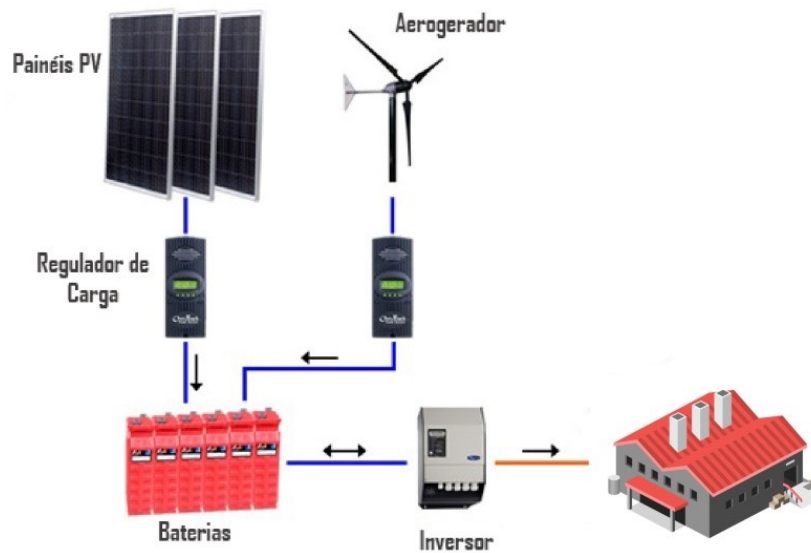


Fonte: Adaptado de Pinho *et al.* (2008).

Sistema Híbrido Eólico – FV

Consiste em uma planta que utiliza ambos os recursos renováveis (EO e FV), formando assim uma planta completamente renovável. A Figura 12 apresenta o SH EO-FV.

Figura 12 – Esquemático de um SH EO – FV.



Fonte: Adaptado de Pinho *et al.* (2008).

Mendonça *et al.* (2017) afirmam que devido ao preço elevado dos módulos FV, as plantas compostas por essa tecnologia eram outrora pouco utilizadas até o ano de 2000, no entanto, com a diminuição considerável dos custos desses equipamentos nas últimas décadas e o grau de consolidação alcançado por tal tecnologia de geração, o uso dessa tecnologia tornou-se cada vez mais frequente.

3.2 Componentes de um sistema híbrido

Um SH é composto por **Unidades de Geração** (Planta FV, AG, gerador D), **Sistemas de armazenamento** (Banco de bateria, volante de inércia, hidrogênio e supercapacitores) e **Sistemas de controle** (Conversores, inversores e controladores de carga).

3.2.1 Unidades de geração

Nesta dissertação foi utilizado um SH que utiliza os sistemas de geração EO e FV, isto se deve a característica intermitente apresentada nas duas gerações, sendo assim a geração

híbrida apresenta as vantagens de combater essa intermitência pois as gerações se complementam e também influencia o custo total do projeto com a redução do armazenamento, deste modo é apresentada uma breve introdução a esses sistemas.

Plantas fotovoltaicos (FV)

As plantas de geração FV consistem de módulos formados por células FV que utilizam a irradiação solar como fonte principal para a geração de energia elétrica.

• Funcionamento de uma célula FV

Silva *et al.* (2013) afirmam que a irradiação solar é transformada em eletricidade em uma célula FV, fabricada com materiais chamados de semicondutores, sendo que o mais utilizado é o silício. A luz solar é composta de pequenos elementos denominados fótons, que quando atingem a célula, parte deles é absorvida, esses fótons energizam os elétrons do material semicondutor, gerando assim eletricidade. Quanto maior a intensidade de luz solar, maior o fluxo da eletricidade.

• Componentes da planta FV

Normalmente é composto por módulos que possuem várias células FV, é utilizado um inversor que capta a potência elétrica de saída dos módulos. Este dependendo da configuração da planta pode injetar a eletricidade na carga, na rede elétrica ou nas baterias.

Planta eólica

• Aerogeradores: são máquinas elétricas que funcionam convertendo a energia cinética presente no vento captado por pás acopladas no seu eixo, em energia elétrica.

Blasques *et al.* (2014) citam que a planta EO utiliza a energia mecânica das massas de ar em movimento para gerar eletricidade, a planta utiliza um conversor. Este dependendo da configuração da planta injeta a potência elétrica nas baterias, na carga ou na rede elétrica.

3.2.2 Sistemas de armazenamento de energia

Em função das características intermitentes dos recursos renováveis (vento e sol) e das variações sazonais e climáticas, a geração de energia elétrica proveniente destas fontes pode exceder ou ser deficitária em relação à demanda de energia elétrica solicitada pela carga.

O sistema de armazenamento tem como objetivo evitar o deficit entre geração e a energia elétrica demandada pela carga. Sejam estes défices de longa ou curta duração, em sua maioria, decorrentes de dias nublados (chuvosos) e/ou dias de calmarias (baixa intensidade a velocidade do vento). BORGES-NETO (2012) relaciona alguns sistemas de armazenamento,

que são: bateria, células a combustível (eletrolise da água); volantes de inércia, superindutores e supercapacitores.

Baterias de Chumbo – Ácido Zhang *et al.* (2017) indicam que as baterias do tipo chumbo-ácido são as mais aplicadas em sistemas isolados de geração provenientes de recursos renováveis, seja este de geração singular ou híbrida.

As baterias de chumbo ácido são o método mais barato e comum de se utilizar em um sistema de armazenamento de energia, pois conseguem ser encontradas no mercado a preços competitivos devido á sua utilização em grande escala no ramo automobilístico. Estas são um conjunto de células que estão conectadas em série e/ou em paralelo, cada célula possui dois eletrodos (cátodo e o ânodo). O nível de tensão de cada célula é de 1,2 a 3,6 V, logo, uma bateria de 12V é um conjunto de 6 células conectadas em série (ZHANG *et al.*, 2017).

As baterias de chumbo-ácido são componentes que convertem energia química armazenada em energia elétrica (processo de descarga) ou energia elétrica em energia química (processo de carregamento) através de reações químicas. Segundo Hart (2011) a capacidade é usualmente, dada em Ampére hora (Ah).

A capacidade é dependente de parâmetros como: quantidade e dimensões das placas, corrente de descarga, temperatura, profundidade de descarga, densidade do eletrólito, idade das células eletroquímicas e outros. A capacidade nominal é definida como a quantidade de Ah que uma bateria pode fornecer em um intervalo de tempo. A tensão de descarga varia em função do fabricante, para baterias de 12 V, o nível de tensão da bateria descarregada é de aproximadamente 10,5 V (ZHANG *et al.*, 2017).

3.2.3 *Sistemas de controle*

O sistema de controle é o componente responsável em processar a potência entregue pelas fontes de energia e condicionar a forma de atender corretamente as cargas.

Os equipamentos que normalmente são encontrados nos sistemas de controle são:

- Inversores;
- Controladores de carga;
- Retificadores.

Inversores

Inversores de frequência (ou conversores CC-CA) são dispositivos eletrônicos, que visam, principalmente, converter a tensão contínua em tensão alternada através da devida

comutação de suas chaves semicondutoras, usualmente comandadas por microcontroladores, para os mais diversos fins, desde o controle de máquinas CA (HART, 2011).

Os inversores são indispensáveis nas aplicações em projetos de conversão de eletricidade ou geração de Corrente Alternada (CA) em planta FV. Esse tipo de equipamento é necessário em qualquer geração que funciona em Corrente Contínua (CC), pois as cargas usualmente presentes em qualquer instalação elétrica funcionam em CA.

Os inversores mais modernos contam com várias funções que vão além da simples conversão de contínuo para alternado contanto com sistemas de controle, proteção e monitoramento de todos os aspectos elétricos do sistema a ele conectado (HART, 2011).

Controladores de carga

Zhang *et al.* (2017) citam que a função básica do controlador de carga é o acoplamento ao banco de baterias e a garantia do controle contra a sobrecarga e descarga profunda o qual o sistema de armazenamento possa ser submetido.

Os controladores têm o objetivo de controlar o processo de carga e descarga da bateria e com isso evitar que esta sofra sobrecarga ou descarga profunda, efeitos que possam trazer danos irreversíveis. O mesmo tem como objetivo garantir um nível de tensão estável/adequado para o carregamento da bateria de acordo com as recomendações do manual do fabricante, de modo a prolongar sua vida útil.

O controle do processo de carga e descarga pode ser efetuado através das seguintes grandezas: *State of Charge* - Estado da carga (SOC), da tensão e do nível eletrolítico da bateria (HART, 2011).

Retificadores

Hart (2011) cita que os retificadores são aplicados em SH para conexões de AG e de geradores D-elétrico ao barramento CC. O dispositivo eletrônico tem como finalidade gerar uma saída retificada e controlada (adequada) para que as unidades de geração EO e D possam ser acopladas ao barramento CC, sem prejuízo ao sistema de armazenamento .

3.3 Experiência Mundial

Segundo Pinho *et al.* (2008) o primeiro SH a nível mundial foi instalado em Clayton, Novo México, Estados Unidos da América, no ano de 1977, sendo a configuração adotada a D-EO.

Rehman *et al.* (2012) apresentam um estudo para definir a melhor configuração e reduzir a dependência de combustíveis fósseis para a geração de energia elétrica para atender a demanda de uma pequena aldeia (Rowdat Ben Habbas), na parte nordeste da Arábia Saudita. O SH escolhido é D-E-FV com 35% de penetração de ER (26% EO e 9% FV) e 65% de D (cinco unidades de 1.120 kW cada), apresentando o menor Custo de Energia (COE) (0,212 US\$/kWh), a um preço de D de 0,2 US\$/L.

Lee *et al.* (2013) propõem um protótipo de um navio verde, híbrido D-FV, visando minimizar os custos de consumo de D e reduzir a emissão de dióxido de carbono. Foram instalados 3,2 kW de módulos no navio com um retorno do investimento em 11,87 anos. O híbrido também contou com banco de bateria para balanço de carga. O protótipo tem potencial para uso comercial, em função do mercado global consoante a crescente redução dos custos dos módulos FV.

Sinha e Chandel (2014) apresentam uma análise de 19 softwares destinados à avaliação de viabilidade técnica-financeira de sistemas de energia conectados ou não à rede. Foi demonstrada uma análise comparativa de um estudo de caso para dois sistemas: FV-BAT e híbrido E – FV–BAT. Entre os 19 softwares analisados, o HOMER, Retscreen, *Hybrid optimization by genetic algorithms* - Otimização Híbrida por Algoritmo genético (HOGA), Trnsys e Hybrid2 se destacam, pela fácil avaliação da configuração dos sistemas propostos.

Ma *et al.* (2014) realizam um estudo de viabilidade técnica e financeira de um SH E – FV com sistema de armazenamento em banco de bateria para atendimento de uma ilha remota na Costa da China. Os resultados demonstram que o gerador D existente na ilha pode ser totalmente substituído. Cerca de 84% da carga foi atendida pela geração solar e 16% pela EO. No entanto, devido ao descompasso entre a demanda de energia solicitada e a geração, 48% da eletricidade gerada não é aproveitada. O COE do sistema foi de 0,595 US\$/kWh e apresentou expectativa de redução em função do desenvolvimento da indústria de ER e dos avanços tecnológicos.

Carroquino *et al.* (2015) utilizam uma ferramenta de simulação e otimização baseada em *Genetic Algorithm* - Algoritmo Genético (GA), denominado HOGA. A finalidade do projeto é aplicar um SH financeiramente viável, que possa reduzir ou substituir a geração D aplicada na

irrigação de água por gotejamento na região do Mediterrâneo. Em função da sazonalidade do recurso EO e da não coincidência com o período do cultivo, a planta adequada, em função dos recursos disponíveis no período em que se faz necessária a irrigação, foi a configuração híbrida D-FV.

Maleki *et al.* (2015) apresentam um SH E-FV-Bat. Foi utilizado algoritmo baseado na lógica de otimização baseada no *Particle Swarm Optimization* - Otimização por Enxame de Partícula (PSO) para o dimensionamento ótimo do SH. O dimensionamento ótimo é a configuração de menor custo e que garanta o fornecimento de eletricidade. O modelo foi aplicado em três regiões atípicas localizados no Irã, utilizando de informações e dados meteorológicos do local. Análise financeira da modelagem demonstrou que, devido à situação geográfica do Irã (elevados níveis de irradiação e baixa velocidade do vento), o SH é adequado para regiões com níveis de velocidade do vento razoáveis.

Prieto-Prado *et al.* (2018) apresentam um estudo com o objetivo de abastecer água potável para uma comunidade de 219 habitantes de El Risco, localizado no município de Agaete, na ilha de Gran Canaria (Espanha). Foi apresentada uma metodologia de dimensionamento baseado no programa HOMER, no qual resultou em um SH composto por um conjunto de módulos FV (150 kW), AG Enercon E33 (330 kW), Célula a Combustível (CaC) (100 kW), Eletrolizador (175 kW), com produção anual de energia de 1.743.031 kWh/ano. Para simular a planta de OR utiliza o software *Reverse Osmosis System Analysis* - Sistema de Análise de Osmose Reversa (ROSA) que simula a produção de água potável de uma planta de dessalinização com consumo de 672,314.32 kWh/ano, com volume de produção de água potável de 46.546,80 m^3 /ano.

Na Tabela 2 são apresentados alguns projetos desenvolvidos no HOMER com características diversas, mostrando a diversidade de aplicação do software, tendo em conta que a sua aplicação principal é a integração de várias fontes de energia.

Tabela 2 – Artigos do HOMER

Autor	Local	SH	Objetivo
1	Chlef, Argélia	EO-FV-D	Abastecer uma vila de 480 pessoas com consumo médio de 0,26 kWh/d por pessoa
2	Salalah, Oman	EO-FV-BAT	Iluminar uma estrada de 10 km durante 12h (6 da noite às 6 da manhã) Carga total de 33,06 kW
3	Tehran, Irã	EO-FV-D-BAT e EO-FV-D-CaC	Aplicar técnicas robustas de otimização para comparação e validação, o algoritmo de recozimento simulado e o software HOMER
4	Istanbul, Turquia	EO-FV-BAT-CaC	Projetar uma Van elétrica (H2Ekokaravan) com o SH instalado no seu interior para fornecer energia elétrica
5	Argélia	EO-FV	Desenvolver um estudo técnico-económico do SH na base da programação orientada ao objeto
6	Bhopal, Índia	FV-CaC-Biomassa	Abastecer uma carga de 101 kWh/dia de consumo energético com 5 kW de demanda máxima.
7	Argélia	EO-CaC-Eletrolizador	Fornecer carga para uma cidade isolada. Máximo de 150 kW e mínimo de 55 kW
8	Semnan, Irã	FV-CaC-BAT	Aplicar 3 estratégias de gerenciamento da energia e 3 metodologias de dimensionamento (AG; HOMER; HOGA), de modo a suportar uma demanda média de 418 W durante o dia.
9	Hong Kong	EO-FV	Fazer o teste e avaliação dos programas disponíveis de dimensionamento de SH
10	Irã	EO-FV-BAT-CaC	Gerar eletricidade para uma vila isolada no Iran, com carga de 623 kWh/dia
11	Índia	Hídrico-EO-FV-BAT	Abastecer 3 cargas (222 kWh/d Escola e Hospital; 212 kWh/d Lojas, centro e pequenas empresas; 58 kWh/d Agricultura)
12	Irã, SUNA	EO-FV-CaC	Minimizar o custo anualizado com base na confiabilidade da demanda ao longo de 20 anos de operação

Fonte: 1-(TAHRI *et al.*, 2013); 2-(CHAICHAN *et al.*, 2016); 3-(MALEKI; POURFAYAZ, 2015); 4-(YAZICI *et al.*, 2013); 5-(BELMILI *et al.*, 2014); 6-(SINGH *et al.*, 2015); 7-(MÉZIANE *et al.*, 2012); 8-(BEHZADI; NIASATI, 2015); 9-(ZHOU *et al.*, 2010); 10-(ROHANI *et al.*, 2010); 11-(SEN; BHATTACHARYYA, 2014); 12-(KAVIANI *et al.*, 2009).

3.4 Experiência Brasileira

A experiência brasileira com SH dá-se no início da década de 90.

Pinho *et al.* (2008) apresentam os SH instalados na região Amazônica. O primeiro SH foi instalado em 1996 com configuração instalada FV-D, com o objetivo de atender 120 famílias da Vila Campinas situada no Município de Manacapuru, estado do Amazonas. O segundo projeto teve apoio técnico do *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) e o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica da Eletrobrás (CEPEL), com um arranjo FV de 800 módulos com capacidade instalada de 51,2 kWp e dois geradores D de 53 kVA e um banco de bateria com 120 unidades (cada unidade com capacidade de 200 Ah), supriu o consumo elétrico de 120 famílias.

Borges-Neto *et al.* (2010) apresentam o SH (D – E – FV) instalado em 2008 na Ilha de Maiaú – MA, com a finalidade de prover eletricidade para 90 famílias. O projeto foi desenvolvido em parceria entre a Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e o Ministério de Minas e Energia, com recurso do programa Luz Para Todos (LPT). A planta é composta por três AG de 7,5 kW e um arranjo FV de 21,06 kWp e um grupo de gerador D com capacidade de 53 kW e um banco de bateria com 120 unidades de bateria de 150 Ah.

Silva *et al.* (2013) apresentam como objetivo avaliar o uso de uma planta FV-CaC-bateria para fornecer energia elétrica em uma comunidade isolada na região amazônica. O estudo enfocou questões técnico-financeiras de um projeto-piloto instalado em uma área de proteção ambiental, localizada no estado do Tocantins, Brasil. Uma análise comparativa dos custos do sistema híbrido após a otimização foi realizada com o auxílio do programa HOMER. A análise mostra que o custo inicial do sistema ideal, o custo atual líquido e o custo de eletricidade com o sistema de armazenamento de hidrogênio são US\$ 87.138; US\$ 102.323; e US\$ 1,351/kWh, respectivamente. Conclui-se que no curto prazo, a implementação do SH-CaC-bateria na região permanece proibitiva devido ao alto custo de seus componentes.

Nogueira *et al.* (2014) analisam o dimensionamento (técnico – financeiro) de um SH EO-FV com armazenamento em bateria, com aplicação em propriedade rural para a região Sul do Brasil, para 06 cenários distintos, que variaram os valores de *Loss of Power Suplly Probability* - Probabilidade de perda de fonte de alimentação (LPSP) e o período de horas consecutivas sem atendimento. O custo da energia variou de R\$ 1,223/kWh para LPSP igual 0% (sem perda de fornecimento) a R\$ 1,00/kWh com LPSP de 30%.

Em função das metas de universalização, um SH foi adotado para atender a demanda

da Ilha das Araras, município Curralinho/PA (Ilha de Marajó) em 2012. O projeto do programa LPT teve como objetivo prover eletricidade à comunidade ribeirinha da ilha (PAC-2, 2012). A planta possui a seguinte configuração: 01 AG de 6 kW e um arranjo FV de 15,6 kWp e um gerador D de 7,5 kW (CAVALCANTE *et al.*, 2014).

Em Vila de Araras - Rondônia (RO), foi instalado um SH com configuração (D–FV) operando simultaneamente. A população atendida foi de 103 habitantes e a planta foi instalado em 1999 (ARRUDA, 2015). O projeto foi uma parceria entre a e o Laboratório de Energia Solar (LABSOLAR) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A capacidade instalada é: 20,48 kWp – FV e 162 kW de geração D.

A partir do programa LPT a comunidade de Ilha Grande, localizada no município de Humberto de Campos/MA, foi contemplada com um SH (D–FV), o sistema gera energia elétrica para cerca de 250 habitantes. O SH de Ilha Grande também possui um sistema de geração D de 30 kVA e um arranjo FV com capacidade de 30,8 kWp (ARRUDA, 2015).

Cavalcante *et al.* (2014) relatam sobre um SH E – FV com banco de bateria. O sistema é aplicado para sustentar uma base flutuante do Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (IDSM), localizado no município de Tefé, estado do Amazonas. O SH é composto por um arranjo FV de 2,08 kWp, sendo dividido em dois conjuntos, cada um com 8 módulos de 130 Wp, além disso, um AG de 300 W, um banco de bateria com tensão nominal de 24 V, composto por 16 bateria de 150 Ah cada.

A Universidade Federal do Amapá (Unifap) 2014 em parceria com a Universidade Federal do Pará (UFPA) e com financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), instalaram um SH E - FV de bombeamento de água onde o paralelismo entre as duas fontes de energia é realizado por meio de um inversor de frequência, o projeto foi financiado pelo CNPQ em Ituabal, localizada a 103 km de Macapá, Estado do Amapá (ARRUDA, 2015).

Khare *et al.* (2016) descrevem uma planta SH EO-FV com a finalidade de prover eletricidade a comunidade de Boa Esperança. Relatam que foi instalado em uma comunidade isolada do Jalapão-TO, a planta instalado é um SH composto por três AG com capacidade nominal de 1 kW cada, 52 módulos FV de 70 Wp e um banco de 32 bateria de 150 Ah cada.

Zanoni (2018) analisa diversas configurações foram avaliadas sob aspecto financeiro e ambiental. A configuração ótima da estrutura do SH foi a composta por geração elétrica a partir de painéis FV com 172,4 kW, gerador a biogás 55 kW e inversor de frequência de 110 kW.

Neste cenário, o capital inicial do SH soma R\$ 1.150.055,00, Valor presente líquido (VPL) de R\$ 1.150.004,00 e o COE é de R\$ 0,22/kW. O *payback* definido pelo software é de 7,1 anos, mostrando-se financeiramente viável.

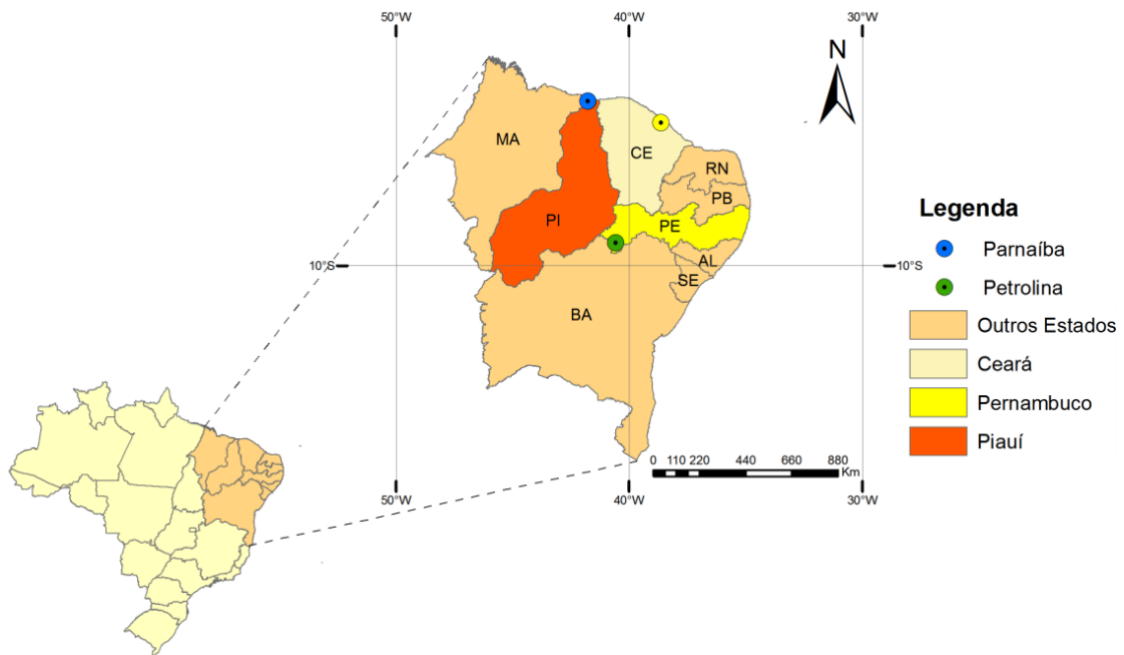
Souza-Filho *et al.* (2019) avaliam o uso de um SH FV-biogás conectado à rede em uma propriedade rural. O biogás é produzido em uma propriedade rural localizada na cidade de Rio Verde/GO, a qual utiliza cinco biodigestores para produção de biogás, cuja conversão em eletricidade é feita por um motor-gerador de 330 kVA ou 210 kW. Foi feita uma análise comparativa dos custos do SH após a otimização, usando o software HOMER.

4 RECURSOS SOLAR EÓLICO

Nesta secção é apresentado o panorama de recursos energéticos de Petrolina e Parnaíba, exibindo os dados de vento e irradiação utilizados no trabalho. Estes dados foram obtidos a partir do trabalho de Carneiro *et al.* (2016), desenvolvido como pesquisa do projeto **“Previsão de potencial eólico visando operação integrada ótima de unidades geradoras de eletricidade: estudo de caso para o Nordeste do Brasil”** do CNPQ, dentro do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) .

A Figura 13 mostra onde estão localizadas as estações de medições de Petrolina e Parnaíba. Os dados de velocidade do vento foram coletados para alturas de 78 m, 50 m e 20 m, sendo que para este estudo temos como componente do SH um aerogerador de pequeno porte, desta forma foram selecionadas as velocidades de vento a 20 m, pois foram os dados usados para a simulação.

Figura 13 – Locais das estações de medição.



Fonte: Carneiro *et al.* (2016)

4.1 Recursos energéticos de Petrolina

Petrolina é um município brasileiro do Estado de Pernambuco. Em conjunto com o município baiano de Juazeiro, forma o maior aglomerado urbano do semiárido. Tem a segunda maior população e o maior Produto Interno Bruto (PIB) do interior de Pernambuco. Localizada

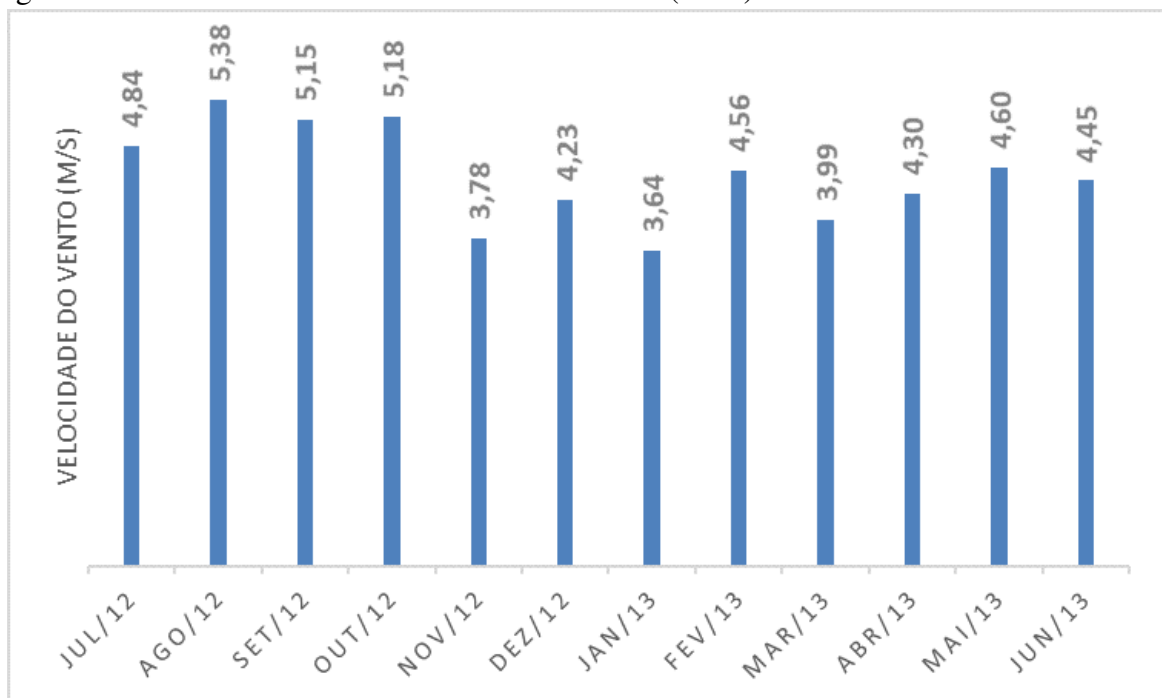
a 730 km da capital pernambucana, Recife, Petrolina possui a sexta maior economia do estado.

O município de Petrolina está localizado na mesorregião do São Francisco, e na Microrregião de Petrolina. Ocupa uma área municipal de 4737,1 km² e representa 4,81% do Estado de Pernambuco. O clima nesta área apresenta-se como tropical semiárido (CARNEIRO *et al.*, 2016). As medições dos valores de velocidade do vento e irradiação foram realizadas, mais especificamente no Instituto Federal do Sertão Pernambucano, de endereço BR 407, Km 08, Jardim São Paulo, Petrolina – PE.

Velocidade do vento em Petrolina

As médias mensais dos dados de velocidade do vento em Petrolina medidas a 20 m de altura, são apresentados nas Figura 14. Foi atingido um valor máximo médio mensal de velocidade do vento de 5,38 m/s em agosto e mínimo médio mensal de 3,64 m/s em janeiro, atingindo uma média anual de 4,5 m/s.

Figura 14 – Velocidade média do vento em Petrolina (20 m).

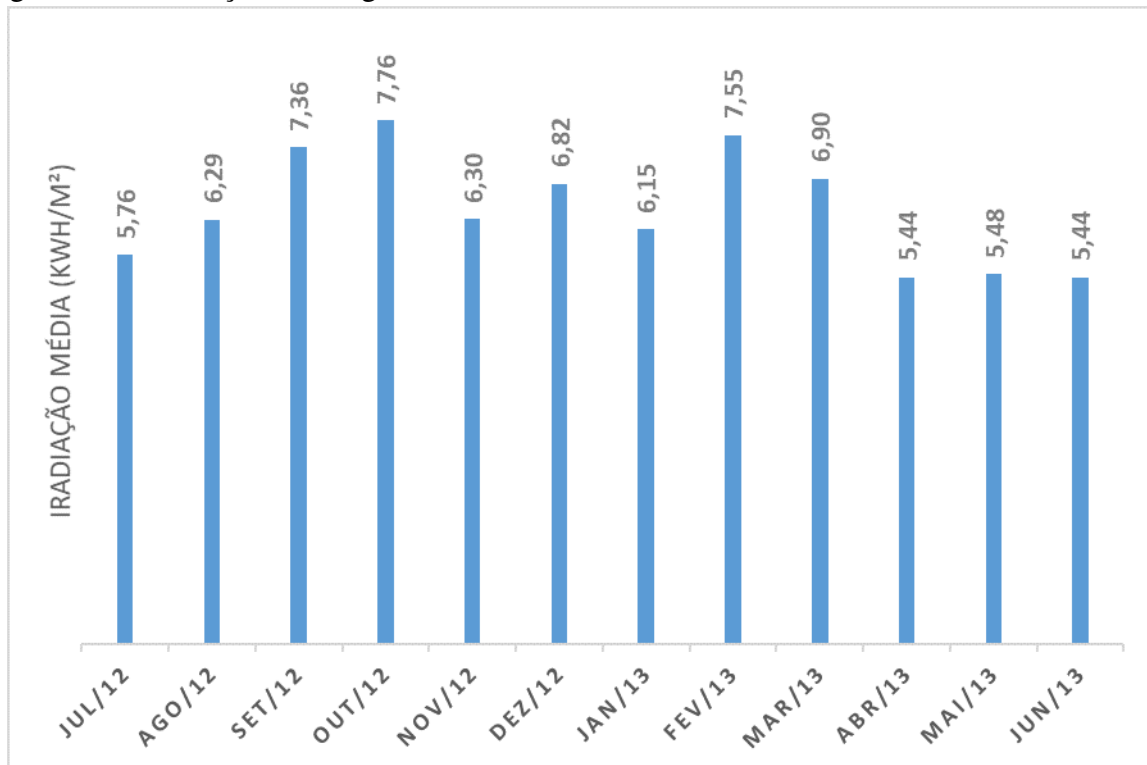


Fonte: Carneiro *et al.* (2016)

Irradiação em Petrolina

Os dados de Irradiação Global Horizontal (IGH) de Petrolina são apresentados na Figura 15, na qual observa-se que o valor máximo médio mensal é de 7,76 kWh/m² no mês de outubro e mínimo médio mensal de 5,44 kWh/m² no mês de junho, atingindo uma média anual de 6,52 kWh/m².

Figura 15 – Irradiação média global em Petrolina.



Fonte: Carneiro *et al.* (2016)

4.2 Recursos energéticos de Parnaíba

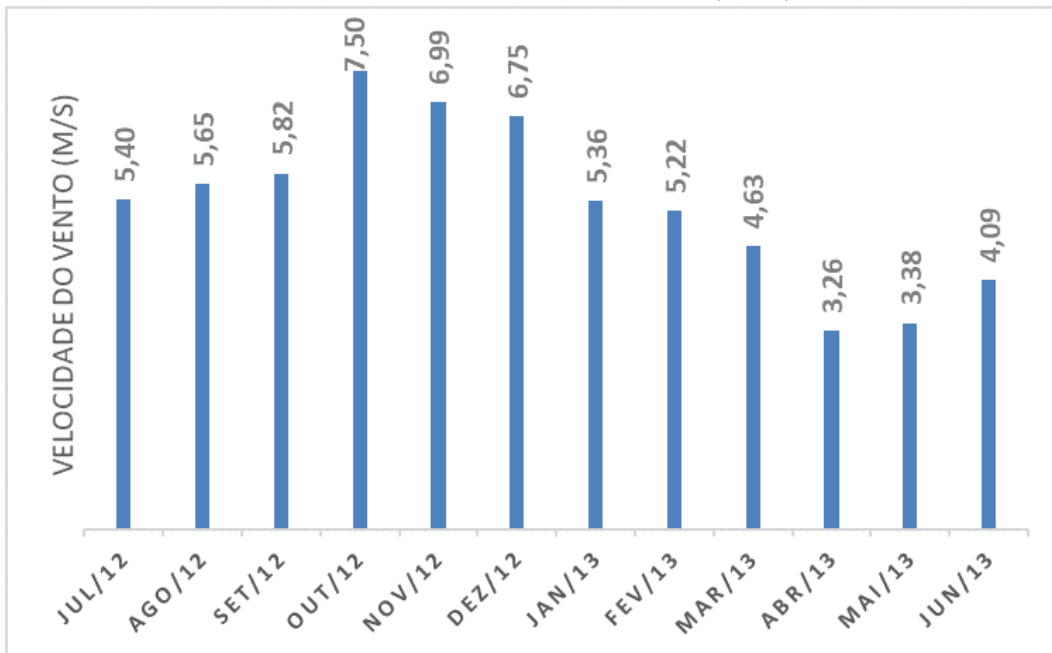
Parnaíba localiza-se na bacia hidrográfica do Rio Parnaíba e é cortada por este que se divide em vários braços formando o famoso Delta do Parnaíba. Está localizada em terrenos do cenozoico quaternário e possui altitude de cerca de 5 metros nas regiões do centro urbano que é afastado do litoral. Encontra-se na planície litorânea e a topografia é bastante regular. Predominam na região a vegetação de igarapés e mangues nas margens dos rios e de caatinga, litorânea e da mata dos cocais no restante do território (CARNEIRO *et al.*, 2016).

Velocidade do vento em Parnaíba

Na Figura 16 é apresentado os dados de velocidade média mensal do vento em Parnaíba a altura de 20 m.

Em relação aos dados de Petrolina, Parnaíba apresenta valores de velocidade do vento mais altos, atingido valor máximo médio mensal de 7,5 m/s em outubro e mínimo médio mensal de 3,26 m/s em abril, atingindo uma média anual de 5,42 m/s.

Figura 16 – Velocidade média mensal do vento em Parnaíba (20 m).

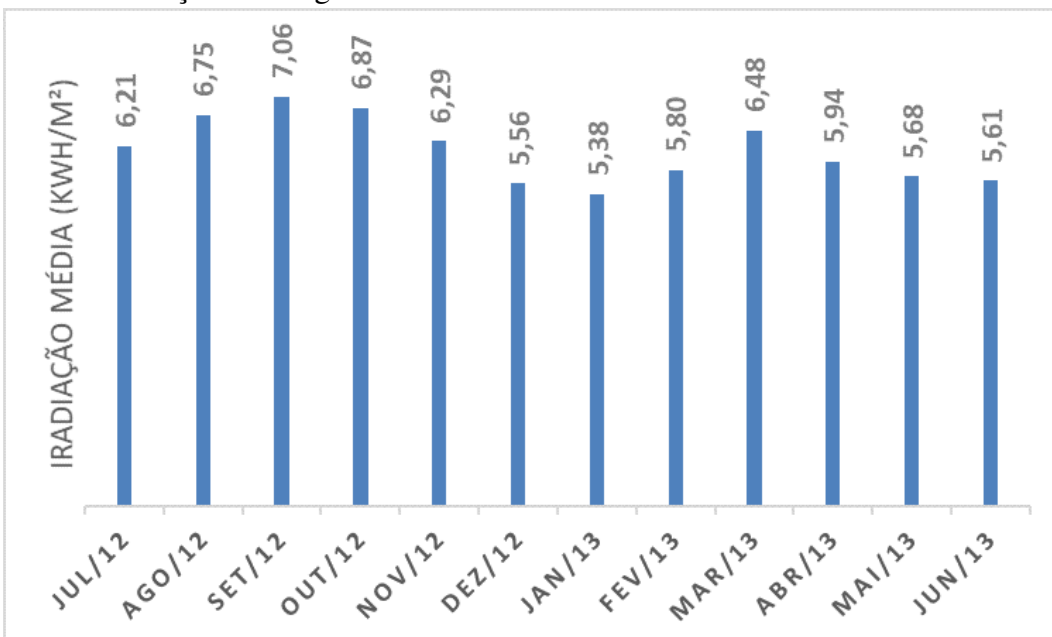


Fonte: Carneiro *et al.* (2016)

Irradiação em Parnaíba

Na Figura 17 são apresentados a IGH de Parnaíba, na qual atinge a irradiação máxima mensal de 7,06 kWh/m² em setembro, mínima mensal de 5,38 kWh/m² em janeiro, atingindo uma média anual de 6,07 kWh/m².

Figura 17 – Irradiação média global em Parnaíba.



Fonte: Carneiro *et al.* (2016)

4.3 Análise dos recursos energéticos - Petrolina e Parnaíba

Neste comparativo considera-se a Irradiação Diária Global de Petrolina e Parnaíba, apresentado na Tabela 3 comparando os dados desse recurso nas duas localidades do projeto.

Tabela 3 – Comparativo dos dados de irradiação.

Irradiação Diária Global (kWh/m²)	Petrolina	Parnaíba
	Média 1º Semestre	5,90
Média 2º Semestre	7,59	6,80
Média anual	6,61	6,07
Mínimo	2,72	1,25
Máximo	8,49	7,41
Mediana	6,73	6,23
Variância	1,51	0,97
Desvio Padrão	1,23	0,98

Fonte: Carneiro *et al.* (2016)

Petrolina tem médias de IGH melhores do que Parnaíba, isso pelo fato de Parnaíba ser uma cidade litorânea o que faz com que ela esteja sujeita a maior nebulosidade. Outro fator importante é o desvio padrão, sendo este menor em Parnaíba do que em Petrolina significa que Parnaíba tem dados de irradiação mais constantes ao longo do ano, o que impacta no dimensionamento do projeto de geração híbrida.

Na Tabela 4 são apresentados dados do 1º e 2º semestres e média anual de Petrolina e Parnaíba. O comparativo é a respeito da velocidade do vento médio a 20 m de altura em Petrolina e Parnaíba.

Tabela 4 – Comparativo dos dados de velocidade do vento.

Velocidade do vento (m/s) a 20m	Petrolina			Parnaíba		
	1ºS	2ºS	Anual	1ºS	2ºS	Anual
Mínimo	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Máximo	13,40	14,30	14,30	16,80	15,90	16,80
Média	6,40	6,96	6,71	6,57	8,54	7,55
Mediana	6,60	7,10	6,90	6,60	8,70	7,60
Variância	3,22	3,20	3,19	4,78	4,37	5,55
Desvio Padrão	1,79	1,79	1,81	2,19	2,09	2,36

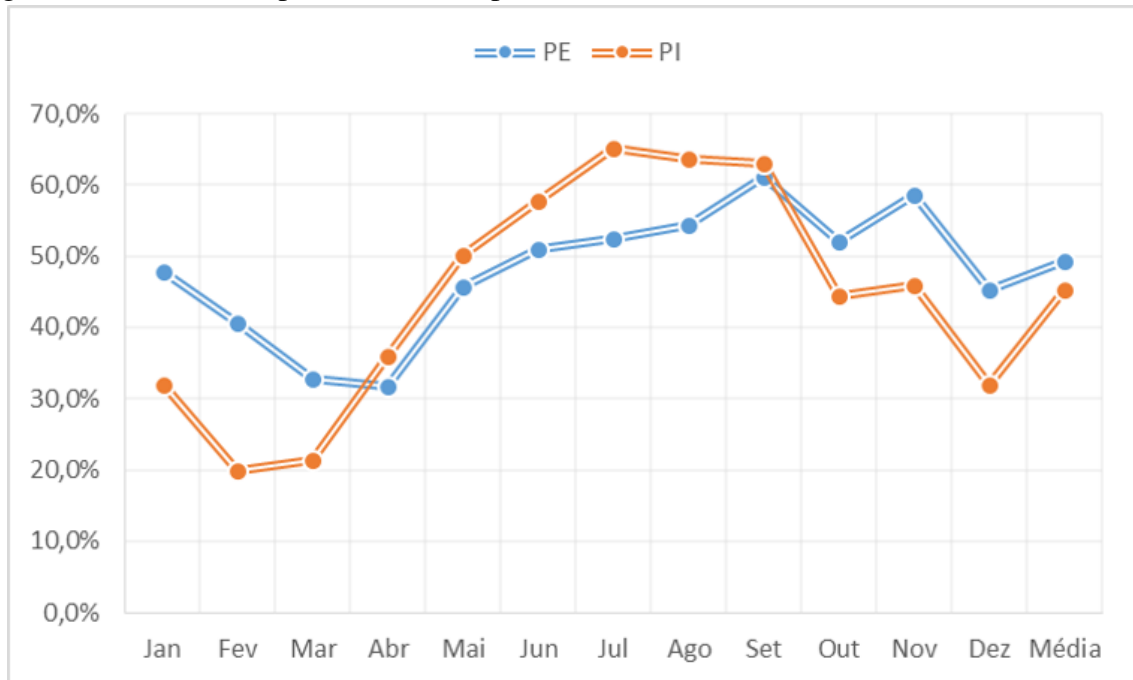
Fonte: Carneiro *et al.* (2016)

Embora Petrolina tenha média anual de velocidade do vento menor que Parnaíba, é em Parnaíba que observa-se o mês com menor velocidade do vento. A amplitude dos dados em

Parnaíba é maior que os dados de Petrolina que tem valor menos intermitentes de velocidade do vento, tal fator é determinante no dimensionamento do projeto de um sistema de geração.

Na Figura 18 são apresentados os indicadores do fator de capacidade dos estados no ano de 2018 (ABEOLICA, 2018), em que Pernambuco e Piauí atingem médias de 49,35% e 45,2%, representando Petrolina e Parnaíba no nosso estudo respectivamente.

Figura 18 – Fator de Capacidade Eólico por Estado 2018.



Fonte: ABEOLICA (2018)

5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA HÍBRIDO

O dimensionamento e otimização de um SH é crucial para atingir custos mínimos de investimento e controle de operação da planta durante a sua vida útil (TEZER *et al.*, 2017). Esta secção tem como objetivo apresentar as metodologias de dimensionamento utilizadas nesta dissertação, juntamente com um estudo de viabilidade técnica e financeira de Sistema Híbrido (SH) Eólico-Fotovoltaico (EO-FV) com sistema de banco de bateria, avaliando a configuração de menor custo-benefício.

Para usar fontes de energia integradas no SH de maneira eficiente e viável financeiramente, é necessário o dimensionamento adequado. No entanto, o design de SH é uma tarefa muito complexa, que requer o desenvolvimento de modelos matemáticos para todos os componentes individuais e a aplicação de técnicas de otimização (GHIASI, 2019).

Sinha e Chandel (2014) apresentam uma revisão bibliográfica onde identificam os diferentes métodos de dimensionamento, onde parâmetros como capacidade EO e FV e fator de capacidade (FC) de cada um são considerados. Bahramara *et al.* (2016) relatam que um dos desafios em SH é determinar o percentual de participação de cada fonte, em função do parâmetro determinante que é o menor custo.

Blasques *et al.* (2014) descrevem que o correto dimensionamento de SH é complexo, em virtude da presença de mais de uma fonte (intermitente ou constante), do sistema de armazenamento e do custo. Os autores propõem um algoritmo de dimensionamento de SH de geração de energia elétrica, a fim de apresentar a configuração de menor custo e também uma proposta de operação e gestão do sistema.

Rekioua e Matagne (2012) propõem um dimensionamento em função da energia elétrica produzida por unidade de área, e a inserção de um parâmetro que define a participação de geração de cada unidade de conversão. O dimensionamento pode ser efetuado com base no mês de menor recurso como também em função da média anual.

Nogueira *et al.* (2014) apresentam uma metodologia para dimensionamento de SH EO-FV com armazenamento em bateria, com aplicação em propriedade rural para a região Sul do Brasil. O método é baseado no conceito de probabilidade de perdas de fornecimento de energia elétrica - *Loss of Power Suplly Probability* (LPSP) para períodos de horas consecutivas.

Balbuena (2013) apresenta uma metodologia para dimensionamento de SH EO-FV com armazenamento em bateria, que propõe o uso do Fator de capacidade (FC) EO e FV de cada região onde os projetos são implementados e também leva em consideração a potência nominal

dos equipamentos do SH. O armazenamento é definido pelo número de dias de autonomia pretendidos, em conjunto com as características das baterias escolhidas para o projeto.

5.1 MÉTODO 1: Dimensionamento técnico-financeiro

O SH tem como princípio atender a carga de forma contínua e eficiente (SILVA, 2010). Apresenta-se o método 1 usado nesta dissertação para validar os resultados do dimensionamento. O método 1 (M1) segue o modelo de Balbuena (2013) no qual se fundamenta no uso das equações (5.1 a 5.6) para dimensionar adequadamente os componentes do SH, garantindo o fornecimento de eletricidade e torná-lo mais confiável.

Os parâmetros a serem definidos são a potência do AG, a potência e número de módulos FV, o número e capacidade das baterias. Neste método se parte do princípio de que o SH é composto por um AG de 0,5 kW, pois nesta metodologia é necessário um componente de base como referência, e sendo o AG o componente de custo mais elevado, este é o primeiro a ser definido.

O dimensionamento dos módulos FV é determinado pela equilíbrio entre a geração e a demanda média anual de Energia Renovável (ER). A geração de energia renovável é calculada levando em consideração o FC de fontes de ER na localização do SH.

O FC de uma fonte de energia renovável é definido como:

$$FC = \frac{\bar{P}}{P_{(nominal)}} \quad (5.1)$$

em que \bar{P} é a potência média real de saída durante um período de tempo e $P_{(nominal)}$ é a potência nominal das fontes de ER.

Para o parâmetro de FC, foram considerados os dados apresentados anteriormente na Figura 18, para Petrolina foi adotado o FC médio para o AG de 49,35% e para Parnaíba 45,2% (ABEOLICA, 2018), para o FC médio da planta FV levou-se em consideração Petrolina 21,6% (ONS, 2019) e para Parnaíba 20,8% (COSTA, 2018) de acordo com as referências mencionadas.

O objetivo do dimensionamento é minimizar a diferença entre a energia elétrica gerada a partir de fontes renováveis de energia e a demanda durante um período determinado de tempo.

$$\Delta P = \Delta \bar{P}_{(geracao)} - \Delta \bar{P}_{(demanda)} \quad (5.2)$$

$$\Delta P = FC_{(AG)} \cdot P_{(AG)nominal} + FC_{(FV)} \cdot P_{(FV)nominal} - \bar{P}_{(Demanda)} \quad (5.3)$$

em que $P_{(AG)nominal}$ é a potência nominal do AG, $FC_{(AG)}$ é o FC usado para o recurso eólico, $P_{(FV)nominal}$ é a potência total do conjunto de módulos FV, $FC_{(FV)}$ é o FC usado para o recurso solar.

Para equilibrar a geração e a demanda, a potência nominal dos módulos FV é dada pela Equação 5.4:

$$P_{(FV)nominal} = \frac{\bar{P}_{(demanda)} - FC_{(AG)} \cdot P_{(AG)nominal}}{FC_{(FV)}} \quad (5.4)$$

em que a demanda da carga média $\bar{P}_{(demanda)}$ é referente a planta de dessalinização por OR.

A capacidade do banco de baterias é dimensionada pela Equação:

$$C_{bb} = \frac{E_{carga} \cdot N_{aut}}{DOD\% \cdot V_{bat} \cdot \eta_{spc}} \quad (5.5)$$

em que $E_{carga}(\frac{kwh}{dia})$ é a energia elétrica diária consumida pela carga (kWh/dia), N_{aut} é o número de dias de autonomia (dia), DOD é a profundidade de descarga, V_{bat} é o nível de tensão da bateria em (V), η_{spc} é o rendimento do sistema de condicionamento de potência, e C_{bb} é a capacidade do banco de baterias em (Ah).

A quantidade necessária de baterias para compor o banco é calculada em função da Equação 5.6:

$$N_b = \frac{C_{bb}}{C_b} \quad (5.6)$$

em que N_b é o número de baterias, C_{bb} é a capacidade do banco de baterias em (Ah), e C_b é a capacidade da bateria em (Ah). Para determinar o dimensionamento do banco foram adotadas as mesmas especificações técnicas da bateria ($V_{bat} = 12$ V e $C_b = 48$ Ah).

5.2 Método 2: HOMER

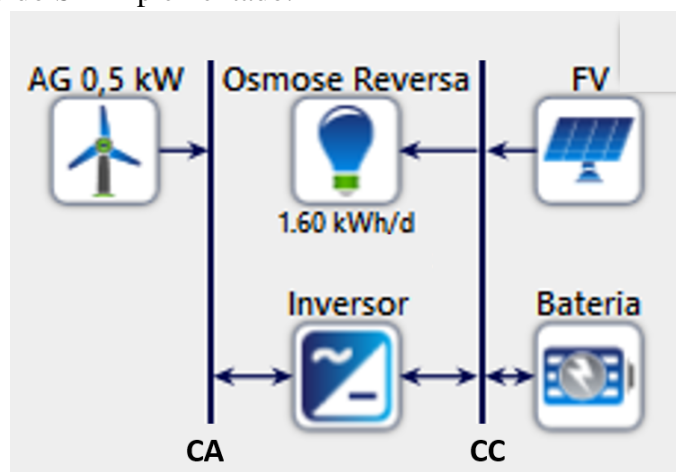
Vários tipos de programas foram desenvolvidos para simulação de SH nos últimos anos, entre estes, podem-se destacar: TRNSYS, INSEL, HYBRID2, HOMER, entre outros. Sinha e Chandel (2014) apresentam uma breve descrição desses programas capazes de simular um SH, entre outros.

O programa HOMER na sua versão padrão, que é disponibilizada gratuitamente por 3 meses para o usuário possui a possibilidade de combinar sistemas renováveis, aliada a uma otimização dos sistemas renováveis com a possibilidade de análise de períodos anuais, mensais e diários e horários (BAHRAMARA *et al.*, 2016). Zhou *et al.* (2010) citam que o programa é uma ferramenta de design que simula e otimiza sistemas de micro geração de energia elétrica autônomos e conectados à rede. Pode ser usado com qualquer combinação atendendo a cargas elétricas e térmicas (KHAN *et al.*, 2018).

No método 2 (M2) é realizada uma otimização técnico-financeira do SH, usando uma ferramenta computacional de otimização (HOMER) para simular esse tipo de sistema, no caso SH EO-FV.

Para realizar a otimização, o modelo de SH mostrado na Figura 19 no HOMER, os dados de entrada para a simulação são: o consumo de energia da carga, os dados meteorológicos (irradiação solar e velocidade do vento) apresentados no Capítulo 4, os detalhes dos componentes técnicos e os custos, as restrições, os controles e o tipo de estratégia.

Figura 19 – Modelo do SH implementado.



Fonte: (HOMER, 2019)

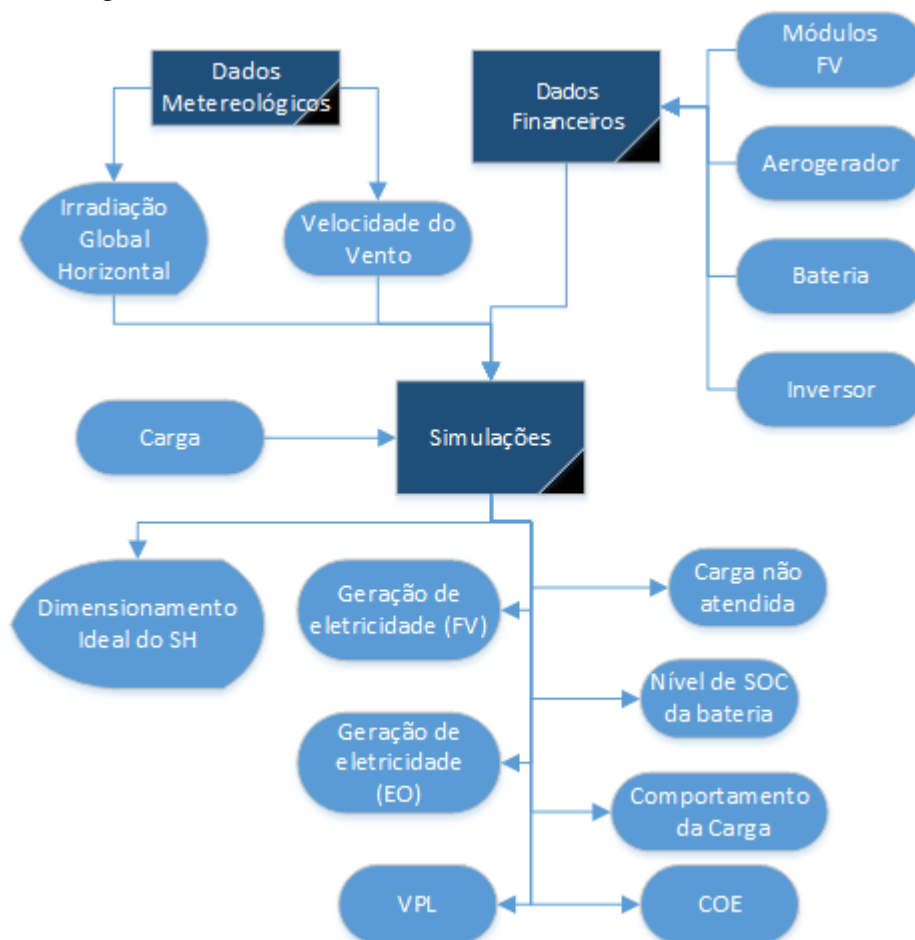
A estrutura do SH da Figura 19 é composta por dois barramentos conectados por um

inversor, um de corrente alternada (CA) e outro de corrente contínua (CC), sendo que no primeiro é conectado o aerogerador, no segundo são conectados a carga da planta de dessalinização por OR, os módulos FV e o conjunto de bateria.

A potência da motobomba é de 0,2 kW, descrito por 8 horas de funcionamento entre as 9 h e as 17 h. Este funcionamento de 8 h diárias se baseia no fato de se aproveitar o total da irradiação solar incidente, totalizando assim um consumo de 1,6 kWh/dia da motobomba.

Na Figura 20 é apresentado o fluxograma do HOMER, no qual estão descritos os principais passos da combinação de informações. Pode-se observar que as simulações são o núcleo na qual são inseridas as informações como dados meteorológicos, os dados financeiros e o tipo e perfil da carga, núcleo no qual é realizada a otimização do sistema pretendido, e de acordo com os parâmetros calculados este apresenta o dimensionamento ideal do SH, juntamente com as simulações de geração FV e EO, custo de energia (COE), valor presente líquido (VPL), comportamento da carga, entre outros.

Figura 20 – Fluxograma do HOMER.



Fonte: Autoria própria.

5.3 Análise Financeira

Neste tópico são demonstradas as equações que fundamentam a análise financeira do SH apresentadas em Silva (2010). O custo total do projeto soma o valor anualizado de cada componente para encontrar o custo total anualizado ($C_{total(anu)}$). A equação é utilizada para o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL):

$$VPL = \frac{C_{total(anu)}}{FRC(t,i)} \quad (5.7)$$

em que ($C_{total(anu)}$) é custo total anualizado ; $FRC(t,i)$ $FRC(t,i)$ é fator de recuperação de capital; t é tempo estimado de projeto; i é taxa de juro real;

O fator de recuperação pode ser calculado por (SILVA, 2010):

$$FRC(t,i) = \frac{i(1+i)^t}{(1+i)^t - 1} \quad (5.8)$$

O custo de energia (COE) é definido como a média do custo por kWh de energia elétrica útil produzida pelo sistema. Para o cálculo do COE, o custo total anualizado de produção de eletricidade é dividido pela energia útil consumida pela carga do ano (E_{total}).

$$COE = \frac{C_{total(anu)}}{E_{total}} \quad (5.9)$$

Custo da bateria

Para se calcular o custo das baterias deve ser levado em consideração na estratégia do SH EO-FV, que a vida útil do projeto excede a vida útil das baterias que normalmente com um bom uso, manejo e controle de carga é estabelecido em média, sendo de 5 anos (MOURA, 2001). O custo das baterias possui duas componentes: custo de capital, que depende da capacidade do banco de bateria; e o custo de substituição das baterias (SILVA, 2010).

Deseja-se nesta seção, determinar o custo da eletricidade armazenada nas baterias proveniente das ER. Silva (2010) apresenta a equação para o custo das baterias, ao longo da vida útil do projeto (Custo da bateria $C_{(Bat)}$).

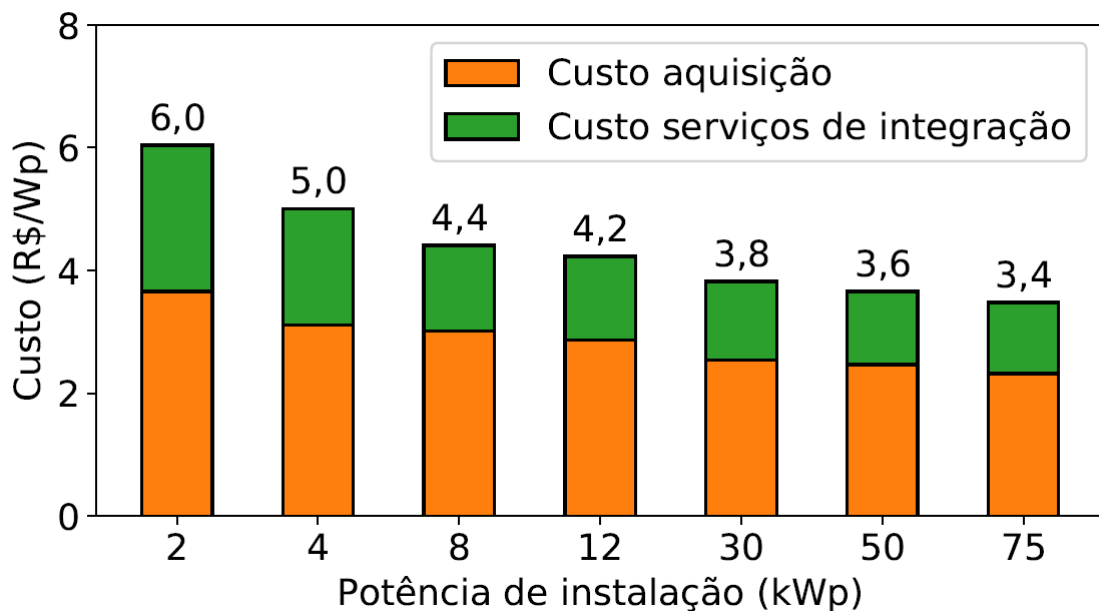
$$C_{(Bat)} = \frac{Cb [R\$]}{N_{bat} \cdot E_{ciclada} \cdot \sqrt{\eta_{bat}}} \quad (5.10)$$

em que C_b é custo das baterias; N_{bat} é número de baterias; $E_{ciclada}$ é energia de carga/descarga das bateria; η_{bat} é eficiência das bateria.

Planta FV do projeto

Para ter um projeto mais próximo da realidade foi necessário realizar uma pesquisa de mercado a respeito do custo por Wp da planta FV. Os custos adotados das plantas FV foram baseados em pesquisa de mercado nacional realiza no terceiro trimestre de 2019 demonstrado em Greener (2019). Os valores são apresentados na Figura 21, em R\$ por Wp, incluem os custos de aquisição dos módulos, inversores, acessórios e dos serviços de integração, que incluem os serviços de projeto e instalação, dados considerados nas simulações.

Figura 21 – Custo da planta FV por faixa de potência de instalação.



Fonte: Greener (2019)

AG do projeto

Para se obter os valores do Aerogerador (AG), do projeto de geração EO, foi solicitado uma proposta comercial para empresa ELETROVENTO S.A, nesta proposta foi solicitado o orçamento de um sistema de geração EO utilizando um AG de 0,5 kW (ELETROVENTO, 2018), considerando todo o custo de projeto, instalação, componentes e transporte o custo do AG ELV-H2.7 - 0.5 kW foi de R\$ 20.000, usado como o parâmetro na simulação.

Figura 22 – Aeroogerador ELV-H2.7 - 0.5 kW.



Fonte: ELETROVENTO (2018).

Armazenamento do Projeto

Como o projeto que se analisa é um sistema *off-grid*, ou seja, desconectado da rede elétrica, há necessidade de um sistema de armazenamento, para alimentar a carga de maneira adequada. Novamente, para configurar um componente na simulação basta estabelecer alguns parâmetros, no caso do sistema de armazenamento, é necessária a configuração do tipo de bateria usado e o seu custo (MOURA, 2001).

A bateria escolhida foi a bateria de Chumbo – Ácido de 12 V com 48 Ah, modelo 12mn80 com o valor de R\$ 460 por unidade. Essa bateria foi escolhida por ser de fácil acesso e consolidada no mercado. Entretanto por ser uma bateria chumbo – ácido pode ser utilizada em diversas aplicações como em centrais de telecomunicação, iluminação, alarmes, entre outras (MOURA, 2001).

Inversor do Projeto

No contexto deste projeto com o objetivo alimentar a planta de OR, é necessário o uso de inversor para que a geração tanto em CC e CA estejam na mesma frequência e consigam alimentar a carga, e o seu papel secundário é garantir a segurança do SH e medir a energia produzida. Para a escolha do inversor foram considerados o equipamentos de acordo com o dimensionamento para cada SH.

Os inversores selecionados são modelo UNO-DM-TL-PLUS (em anexo), fazem parte do catálogo de inversores da biblioteca do Homer e atendem a necessidade do projeto, e de acordo com as equipamentos do SH o inversor adequado é escolhido para atender o perfil de carga do projeto.

Neste contexto, determinados os equipamentos que compõem o SH, é necessário abordar a metodologia de cálculo usada para a dessalinização, para no final se apresentar o cálculo do Custo específico de Produção (CEP) da água potável produzida. Prieto-Prado *et al.* (2018) avaliam o CEP em termos do valor gasto para produzir uma unidade de metro cúbico (m³) de água potável. Deste modo, para chegar neste resultado o autor apresenta primeiro o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) pela fórmula:

$$VPL = C_{FV} + C_{AG} + C_{Bat} \quad (5.11)$$

em que C_{FV} é o custo dos componentes da planta FV e manutenção, C_{AG} o custo dos componentes do Aerogerador e manutenção, C_{Bat} o custo das bateria, sua operação e manutenção.

Com o VPL e a Energia Total Gerada (ETG) composta pela eletricidade gerada pela FV e EO, obtidos no HOMER calcula-se o Custo da Energia (COE) do SH EO-FV.

$$COE = \frac{VPL}{ETG} \quad (5.12)$$

No passo seguinte, é necessário definir a estrutura da planta de OR pois esta influencia diretamente o valor Consumo específico de eletricidade (CEE) na produção de água potável, no qual nesta dissertação foi utilizado o software WAVE para se conseguir obter esse valor. Obtido o valor de CEE, calcula-se o CEP (PRIETO-PRADO *et al.*, 2018).

$$CEP = \frac{COE}{CEE} \quad (5.13)$$

Desta forma com o valor de CEP pode-se avaliar os valores para cada planta de dessalinização, segundo o seu consumo e produção de m³ de água potável e comparar com os valores apresentados na literatura.

6 WAVE

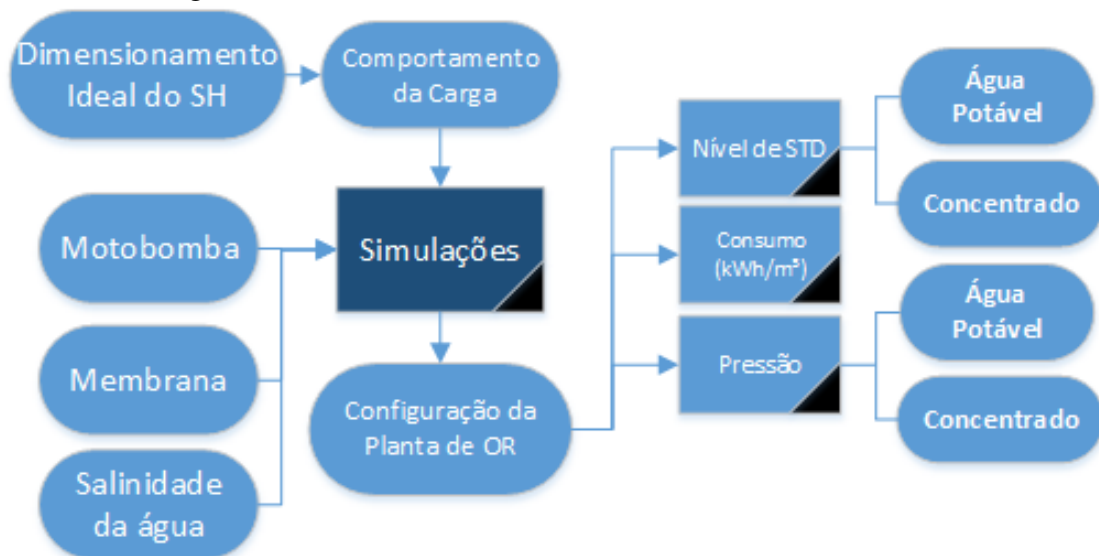
Nesta secção é apresentado o programa *Water Application Value Engine* - Ferramenta de valor de aplicação de água (WAVE), suas principais funcionalidades e procedimentos para realizar a simulação da planta de dessalinização por OR, programa disponível gratuitamente na versão estudantil.

6.1 Projeto no WAVE

O software WAVE integra três tecnologias - ultrafiltração, OR e troca iônica, atualiza os melhores recursos dos conhecidos programas disponíveis no mercado como o ROSA, UFLOW, IXCALC e CADIX.

Na Figura 23 é apresentado o fluxograma do WAVE no qual são observados os dados de entrada, sendo estes em parte os dados provenientes dos resultados do dimensionamento ideal previamente calculado e em parte inseridos pelo usuário (motobomba, tipo de membrana e salinidade da água). A partir dos dados de entrada o programa gera os resultados, sendo estes o consumo da planta de dessalinização, pressão e nível de STD da água potável e concentrado.

Figura 23 – Fluxograma do WAVE.



Fonte: Autoria própria.

6.2 Parâmetros de entrada

Inicialmente são definidos dois parâmetros para simular a planta de dessalinização, o tipo de água a ser dessalinizada e o método.

Dentro das opções de salinidade de água tem-se a de poço, superfície, do mar e residual ou descarte. Cada uma apresenta níveis de salinidade (STD) baixos ($0 < \text{STD} < 1000$ mg/L) como o caso da água de superfície, médios como o caso do poço ($1000 < \text{STD} < 3000$ mg/L), e altos como os casos da água do mar e descarte ($\text{STD} > 3000$ mg/L).

O usuário define as características exatas da salinidade da água, podendo definir o nível de STD, balancear os íons e cations presentes no líquido, ajustar parâmetros de temperatura e também opcional nível de Turbidez em Níveis de Turbidez (NTU) e Substâncias orgânicas em Conteúdo orgânico total (COT).

É apresentado ao usuário as possíveis configurações da planta de dessalinização, número de estágios e tipos de membrana. Os números de estágio variam de 1 a 5 estágios, variando de acordo com o salinidade da água e nível de STD pretendido no final do processo de dessalinização, sendo que a cada estágio o nível de pureza da água é maior, mas acarreta um maior consumo de energia e adição do número de membranas.

Por fim, de acordo com os parâmetros definidos anteriormente são apresentados os resultados de cada etapa do processo de dessalinização, desde o bombeamento do reservatório ao descarte do concentrado.

6.3 Componentes da planta de dessalinização

De modo a simular uma planta de dessalinização por OR, definiu-se os componentes a serem considerados no WAVE. Primeiramente o método OR, a salinidade da água, a membrana e a motobomba. Segundo a ABAS (2003) a maior parte dos poços de água salobra no Nordeste do Brasil apresenta concentrações de 1500 mg/L de STD, logo no parâmetro de salinidade da água, foi escolhido a água do poço, pois é a que define melhor este tipo de água, e considerada em 1500 mg/L de STD a salinidade inicial.

Com a informação sobre a salinidade de água, de modo a atingir o padrão de água potável definido pela (WHO, 2017), o programa WAVE sugere o uso da membrana ECO PRO-440i (FILMTEC, 2018), apresentada na Figura 24. Esta se destaca em plantas de OR pela boa performance para fluídos com as concentrações citadas anteriormente.

Figura 24 – Membrana ECO PRO-440i.



Fonte: Adaptado de: (FILMTEC, 2018)

Parâmetros Característicos das Plantas de Dessalinização: Cada planta de dessalinização possui um gradiente de pressão (P_f), uma perda de carga (ΔP) e um rendimento (Y) característicos. A média aritmética da soma das pressões de alimentação (P_a) e do concentrado (P_c) menos a pressão da água potável (P_p) define o gradiente de pressão (P_f), pela Equação 6.1:

$$P_f = \frac{(P_a + P_c)}{2} - P_p \quad (6.1)$$

A perda de carga no elemento de membranas (ΔP) é a diferença de pressão entre a alimentação e o concentrado do módulo dado pela Equação 6.2:

$$\Delta P = P_a - P_c \quad (6.2)$$

Uma planta de OR pode possuir diversos vasos (recipientes que acondicionam as membranas) e esses podem conter diversas membranas. O quociente do fluxo de água potável (Q_p) pelo fluxo de alimentação (Q_a) de cada membrana define a taxa de recuperação, enquanto a mesma relação, quando se analisa a instalação como um todo, determina o rendimento da instalação (Y) segundo a Equação 6.3:

$$Y(\%) = 100 \cdot \frac{Q_p}{Q_a} \quad (6.3)$$

O Percentual de rejeição de sais (PRS) das membranas é determinado pela Equação 6.4:

$$PRS = \left(1 - \frac{C_p}{C_a}\right) \cdot 100(\%) \quad (6.4)$$

sendo C_a - Concentração de sal da água de alimentação (mg/L); e C_p - Concentração de sal da água potável (mg/L).

De modo a simular uma planta de dessalinização de pequeno porte, para abastecer uma comunidade de 100 pessoas com consumo de 5 L diários, foi necessário uma pesquisa de mercado das motobombas com produção diária de água potável de 500 L com salinidade de 500 mg/L na água produzida. A motobomba escolhida foi motobomba SHURFLO 2088 (Figura 25), pois se encaixou nas especificações anteriormente mencionadas, com possibilidade de aplicação em OR e que podem ser acionadas por ER.

Figura 25 – Bomba Shurflo 2088.



Fonte: Adaptado de: (SHURFLO, 2015)

A SHURFLO 2088 apresenta os requisitos necessário, em termos de vazão (até 19,2 m³/dia) e pressão (até 50 psi) adequados para o bombeamento da água para a membrana, em comparação com outros modelos pesquisados. O fabricante da SHURFLO 2088 fornece em seu manual as especificações técnicas e as curvas de desempenho, apresentadas nas Tabela 5.

Tabela 5 – Especificações do desempenho típico da motobomba SHURFLO 2088.

Pressão (psi)	Vazão (Litros/min)	Rotação (RPM min/max)	Corrente (Ampère)	Tensão (Volts)
Aberto	13,2	2160/2210	5,3	12 VCC
10	10,7	2130/2160	5,8	
20	9,7	2050/2110	7,0	
30	8,7	2015/2030	8,0	
40	7,6	1960/1975	9,1	
50	6,6	1915/1930	9,9	

Fonte: (SHURFLO, 2015)

De modo a obter-se parâmetros de comparação tanto para as metodologias de dimensionamento, simulação uma planta de dessalinização de médio porte para abastecer uma comunidade de 1000 pessoas com consumo de 5 L diários e o funcionamento do SH para suprir uma carga maior, foi utilizada uma motobomba com potência maior, nomeadamente 10 vezes mais potência que a anteriormente mencionada, foi escolhida a bomba Ferrari - 2 kW apresentada na Figura 26.

Figura 26 – Bomba Ferrari - 2 kW.



Fonte: Adaptado de: (SHURFLO, 2015)

Dados Técnicos

Motor: 2000 Watts; Tensão Nominal: 220 VCC; Rotação: 3.500 rpm; Vazão máxima (Q): 30.000 L/hora (720 m³/dia); Altura manométrica máxima (Hm): 20 mca; Sucção máxima (Hs): 8 mca Recalque.

7 RESULTADOS

Neste capítulo apresenta-se os resultados do dimensionamento dos SHs para Petrolina e Parnaíba para as cargas de 200 W e 2 kW, as simulações das planta de dessalinização por OR no WAVE, apresentando a produção de água potável por dia, e por fim o preço final da água produzida.

7.1 Validação do dimensionamento dos Projetos - 200 W

Para a validação do dimensionamento calculado para a planta de 200 W, com um perfil de funcionamento diário de 8 horas, referentes ao período das 9 h até as 17 h. Foram comparadas duas metodologias M1 apresentada por Balbuena (2013) e M2 aplicado no HOMER, descritas no Capítulo 5.

De acordo com as metodologias, foram feitos os cálculos e os resultados são apresentados na a Tabela 6, na qual pode-se observar que os resultados dos métodos M1 e M2 são iguais, tanto para Petrolina e Parnaíba, tendo em consideração que a planta EO-FV é de pequeno porte.

Tabela 6 – Resultados da validação dos projetos.

Componentes	Método 1		Método 2	
	Petrolina	Parnaíba	Petrolina	Parnaíba
Aerogerador	1 und. x 0,5 kW	1 und. x 0,5 kW	1 und. x 0,5 kW	1 und. x 0,5 kW
Módulos FV	1 und. x 330 W	1 und. x 330 W	1 und. x 330 W	1 und. x 330 W
Baterias	2 und. de 48 Ah	1 und. de 48 Ah	2 und. de 48 Ah	1 und. de 48 Ah
Inversor	1 und. de 1,2 kW	1 und. de 1,2 kW	1 und. de 1,2 kW	1 und. de 1,2 kW

Fonte: Autoria Própria

A partir da análise dos resultados apresentados na Tabela 6 pode-se concluir que as metodologias de dimensionamento propostas apresentaram resultados iguais, desta forma validando as metodologias e o resultado.

7.2 Resultados de Petrolina

Neste tópico foi simulado o SH EO-FV de Petrolina, para apresentar os dados técnico-financeiros da planta e com os resultados da simulação apresentar as características de funcionamento da planta. São apresentados os resultados técnico-Financeiros para o SH EO-FV na Tabela 7.

Tabela 7 – Sumário do SH EO-FV em Petrolina

Planta FV (W)	AG (kW)	Inversor (kW)	Bateria (Ah)
1 und. x 330	1 und. x 0,5	1 und. x 1,2	2 und. x 48
Investimento Inicial	COE (R\$/kWh)	Custo Operacional por ano (R\$/ano)	VPL (R\$)
26.252	3,74	800	28.464

Fonte: HOMER (2019)

De acordo com o resultado técnico-financeiro apresentado, segue na Tabela 8 o sumário dos custos detalhado do SH EO-FV. O capital da planta FV é a soma de 1 unidade de módulo FV e do inversor de 1,2 kW junto com todos os custos de instalação, para o Aerogerador são incluídos os custos de manutenção obtidos pela empresa Eletrovento (ELETROVENTO, 2018).

Tabela 8 – Custos do SH EO-FV em Petrolina

Componentes	Capital (R\$)	Troca de Equipamentos (R\$)	Manutenção (R\$)	Total (R\$)
Planta FV + Inversor	5,332	0	0	5.332
Aerogerador	20.000	0	1.292	21.292
Bateria	920	920	0	1.840
Sistema	26.252	920	1.292	28.464

Fonte: Adaptado de HOMER (2019)

Simulações do SH EO-FV de Petrolina

Neste tópico foi simulado o comportamento do SH EO-FV proposto nesta dissertação, foram realizadas simulações de longo prazo (ou seja, anual), para atender à demanda de energia da carga, com os dados meteorológicos referentes a Petrolina. Os resultados da simulação mostraram que na planta híbrida EO-FV, a geração EO detém participação de 79,3% e sendo os restantes 20,7% abastecidos pela geração FV, num total de 3.050 kWh gerados no ano,

apresentados na Tabela 9.

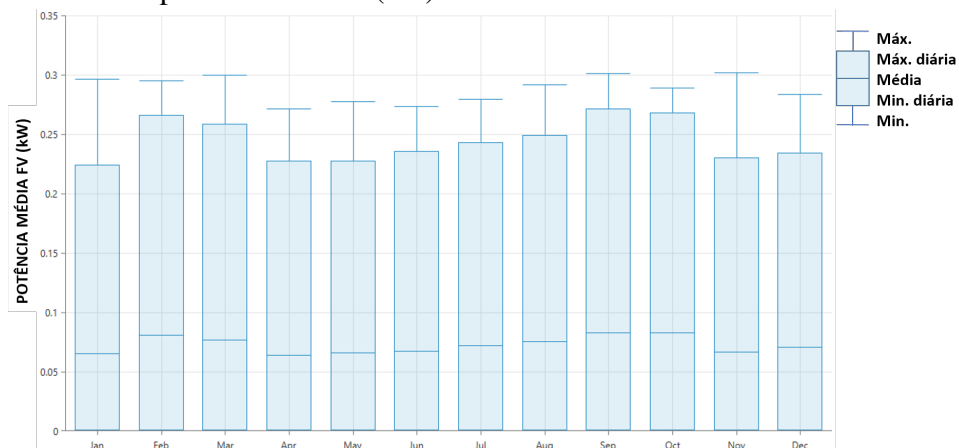
Tabela 9 – Dados de geração de energia elétrica do SH EO-FV de Petrolina.

Componentes	kWh/ano	%
Módulos FV	632	20,7
Aerogerador	2.417	79,3
Total	3.050	100

Fonte: HOMER (2019)

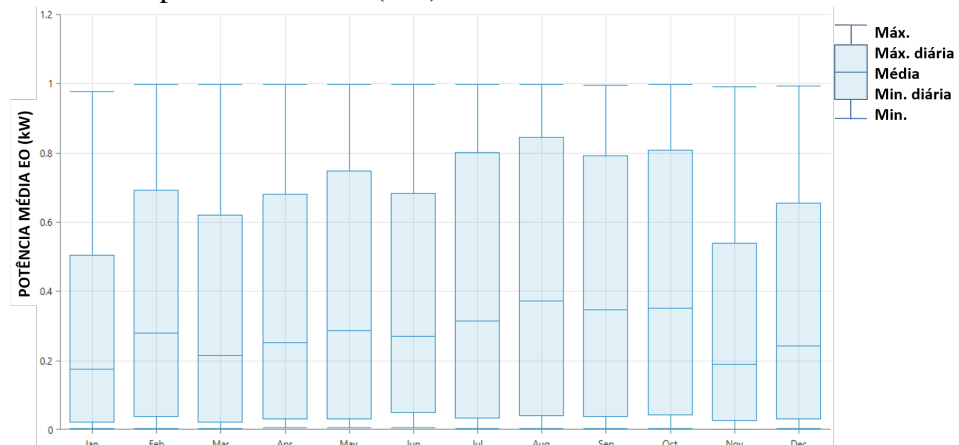
A potência FV e EO é apresentada em separado na Figura 27 pode-se observar que a potência FV tem máximas em Fevereiro, Março, Setembro e Outubro, mas na Figura 28 observa-se que a potência EO atinge potências máximas mensais nos meses de Setembro, Outubro e Novembro. Deste modo a geração EO consegue contribuir com 79,3% na parcela de eletricidade total gerada pelo SH EO-FV, como mencionado anteriormente.

Figura 27 – Perfil de potência mensal (FV).



Fonte: HOMER (2019)

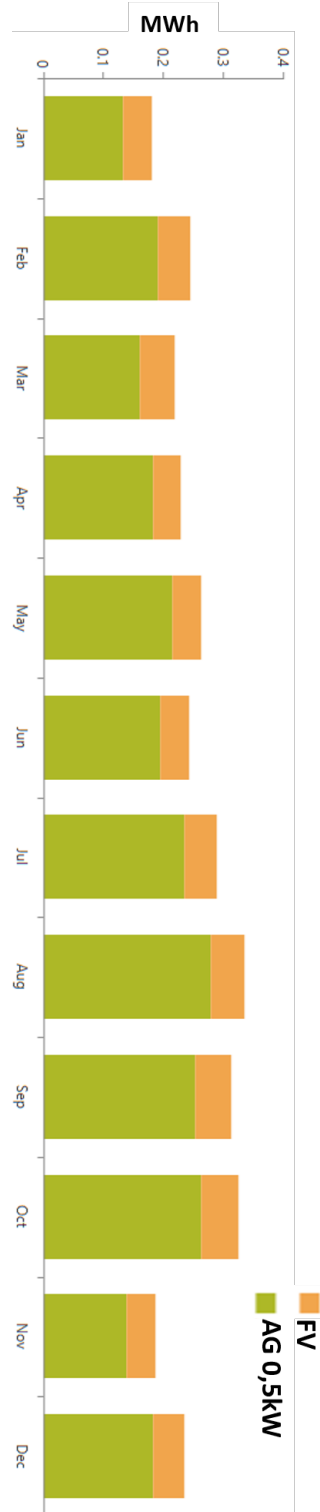
Figura 28 – Perfil de potência mensal (AG).



Fonte: HOMER (2019)

Na Figura 29 pode-se observar a eletricidade gerada ao longo do ano pela combinação híbrida FV e AG. Nota-se que a geração do SH é mais alta no segundo semestre do ano, apresentando uma queda em novembro.

Figura 29 – Eletricidade gerada mensal (Combinação EO-FV).



Fonte: HOMER (2019)

Nas Figuras 30 e 31 são apresentados o nível e o perfil de SOC da bateria ao longo do ano respectivamente. Pode-se analisar que os índices de SOC sempre se demonstraram em média acima dos 95%, podendo oscilar até níveis mínimos de 60% em Novembro e Dezembro, sendo que Novembro foi anteriormente citado como um dos meses de menor geração EO-FV, concluindo que ao longo do dia as baterias se mantêm sempre com níveis acima dos 95%.

Figura 30 – Nível de carga de bateria (%).

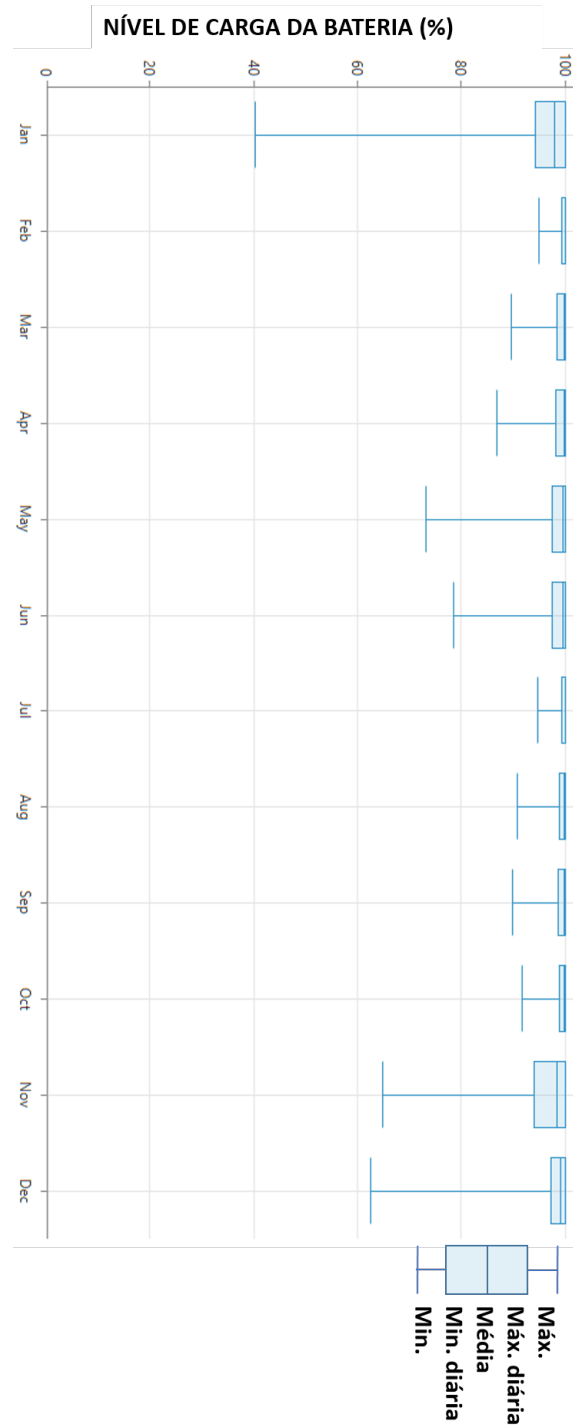
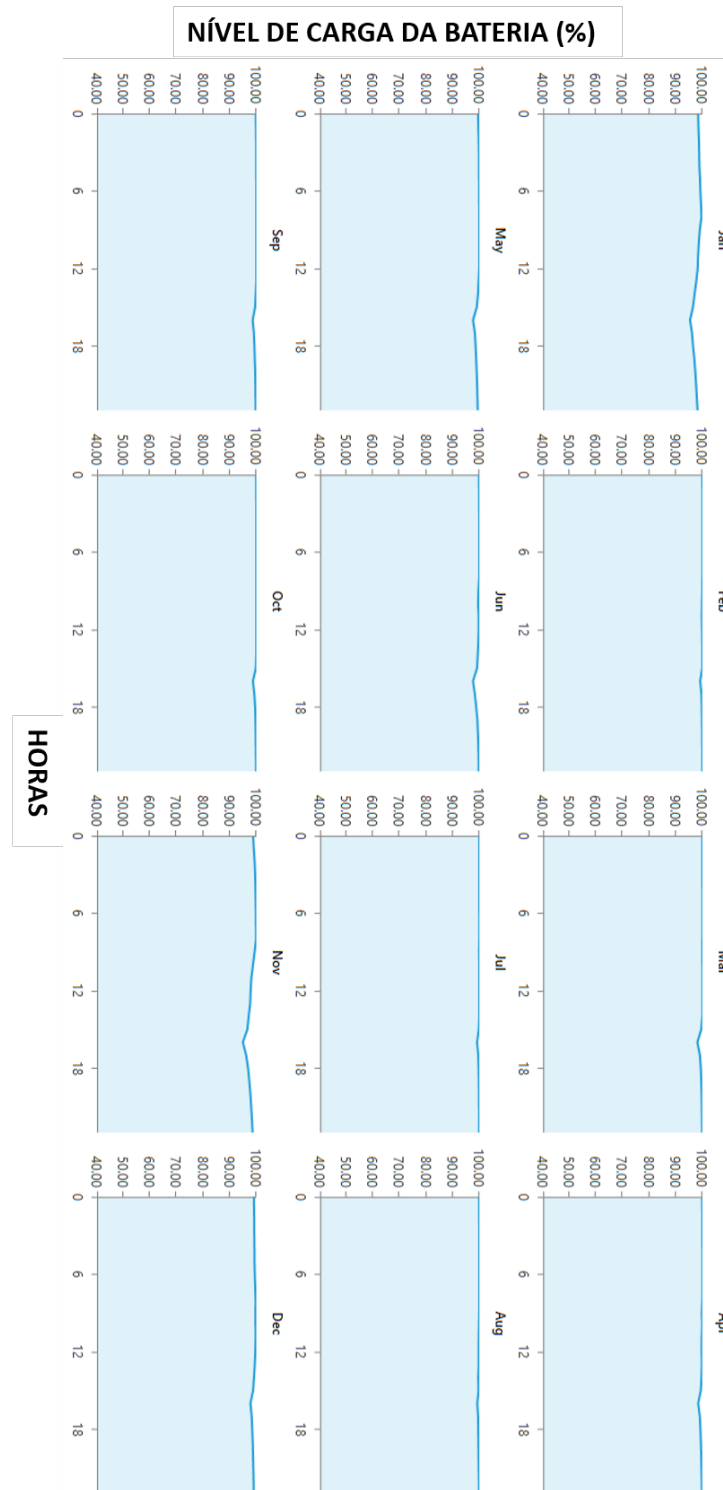


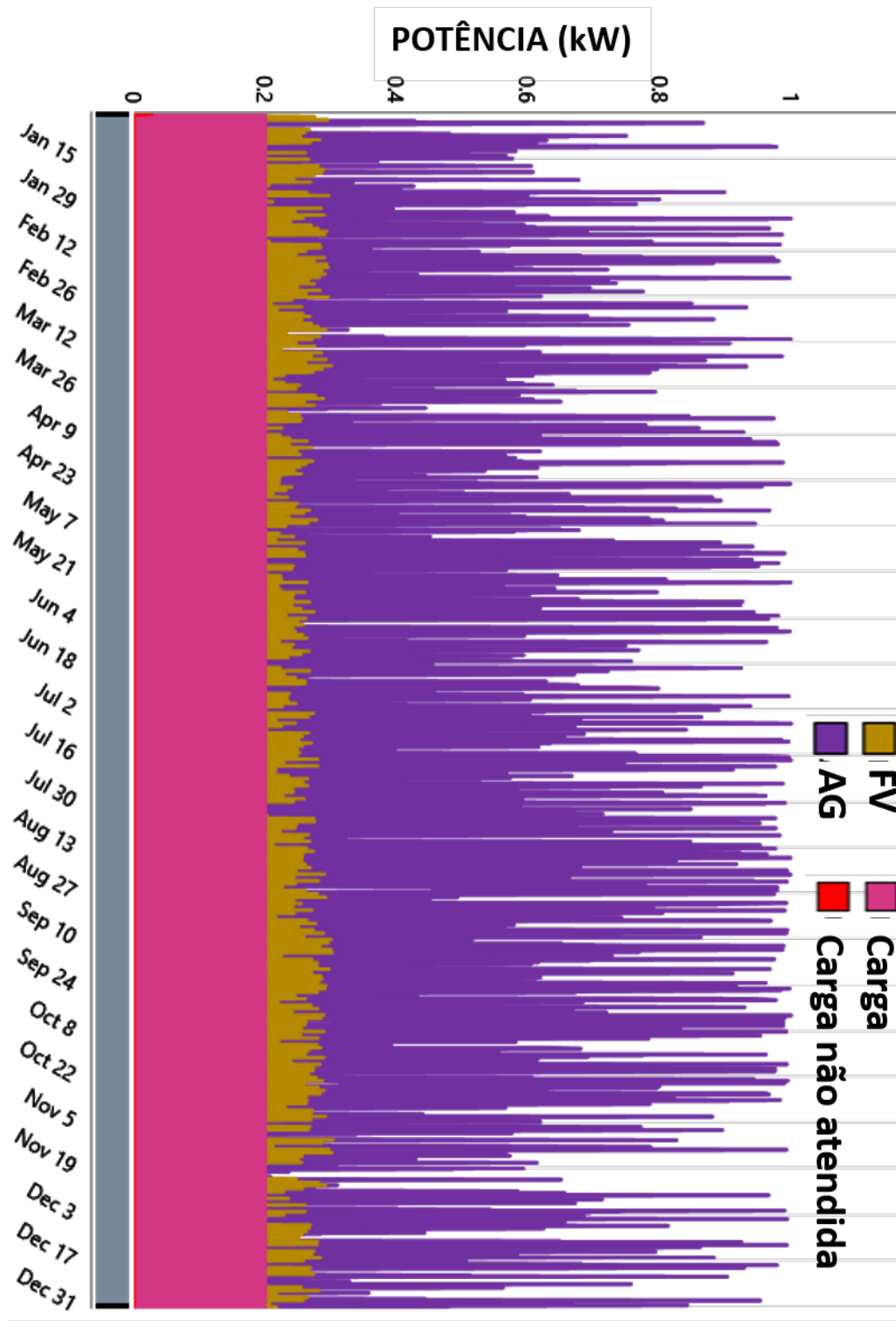
Figura 31 – Perfil de carga de bateria (%).



Fonte: HOMER (2019).

A Figura 32 mostra a carga da planta de dessalinização por OR na faixa de 200 W, a geração EO e FV e a carga atendida no panorama anual do estudo. Pode observar que o SH atende na totalidade a carga, não havendo oscilações na curva de carga atendida ao longo do estudo.

Figura 32 – Perfil anual do SH.



Fonte: HOMER (2019).

7.3 Resultados de Parnaíba

São apresentados os resultados do projeto do SH EO-FV para as condições climáticas de Parnaíba, partindo inicialmente da estrutura do SH proposta para abastecer a planta de dessalinização por OR com a carga de 200 W durante 8 hrs, no período de 9 até 17h.

De acordo com a validação dos dados a partir dos resultados dos métodos M1 e M2, mencionados anteriormente, são determinadas as características do SH e apresentados os resultados do dimensionamento do SH EO-FV na Tabela 10.

Tabela 10 – Sumário do SH EO-FV em Parnaíba

Planta FV (W)	AG (kW)	Inversor (kW)	Bateria (Ah)
1 und. x 330	1 und. x 0,5	1 und. x 1,2	1 und. x 48
Investimento Inicial	COE (R\$/kWh)	Custo Operacional por ano (R\$/ano)	VPL (R\$)
25.792	3,63	800	27.544

Fonte: HOMER (2019)

Desta forma de acordo com o resultado técnico-financeiro é apresentado o sumário dos custos detalhados por componente, como também capital inicial, troca de equipamentos e manutenção, do SH EO-FV em Parnaíba.

Tabela 11 – Custos do SH EO-FV em Parnaíba

Componentes	Capital (R\$)	Troca de Equipamentos (R\$)	Manutenção (R\$)	Total (R\$)
Planta FV + Inversor	5,332	0	0	5.332
Aerogerador	20.000	0	1.292	21.292
Bateria	460	460	0	920
Sistema	25.792	460	1.292	27.544

Fonte: HOMER (2019)

Simulações do SH EO-FV de Parnaíba

Neste tópico foi simulado o comportamento do SH EO-FV proposto nesta dissertação, foram realizadas simulações de longo prazo (ou seja, anual), para atender à demanda de energia da carga da planta de dessalinização por OR.

Os resultados da simulação mostraram que existe um domínio na planta híbrida EO-FV da geração EO, com participação em 83,9% e os restantes 16,1% abastecidos pela

geração FV, num total de 3.774 kWh gerados no ano, apresentados na Tabela 12.

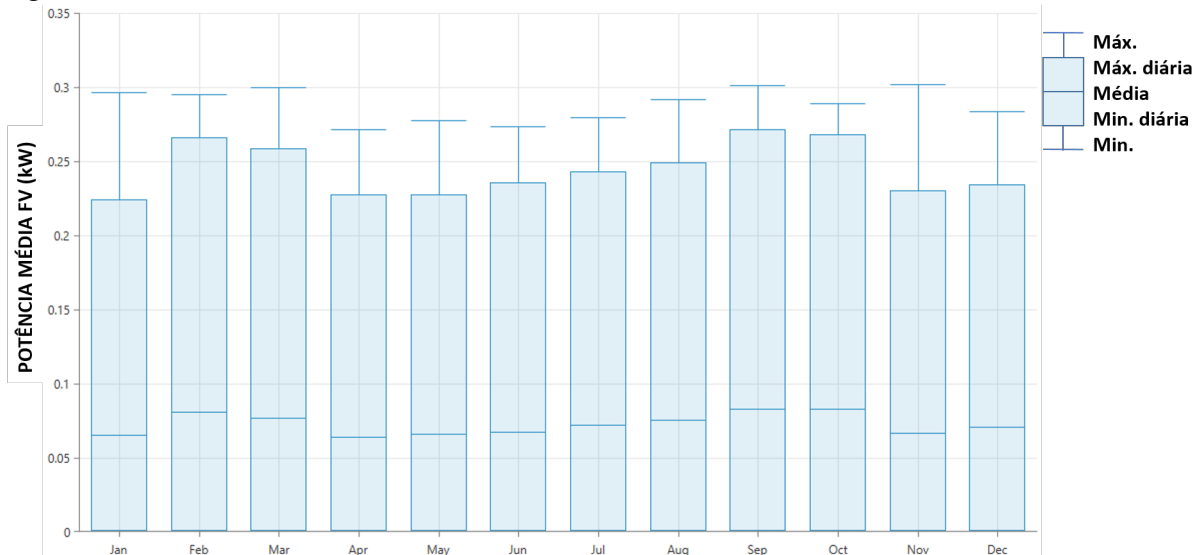
Tabela 12 – Dados de geração de energia elétrica do SH de Parnaíba.

Componentes	kWh/ano	%
Módulos FV	609	16,1
Aerogerador	3.165	83,9
Total	3.774	100

Fonte: HOMER (2019)

A Figura 33 apresenta a potência FV, sendo observado que a geração FV tem os mínimos nos meses de Abril, Maio e Junho, havendo destaques nos meses de fevereiro, março, setembro e outubro, como os meses de maior geração.

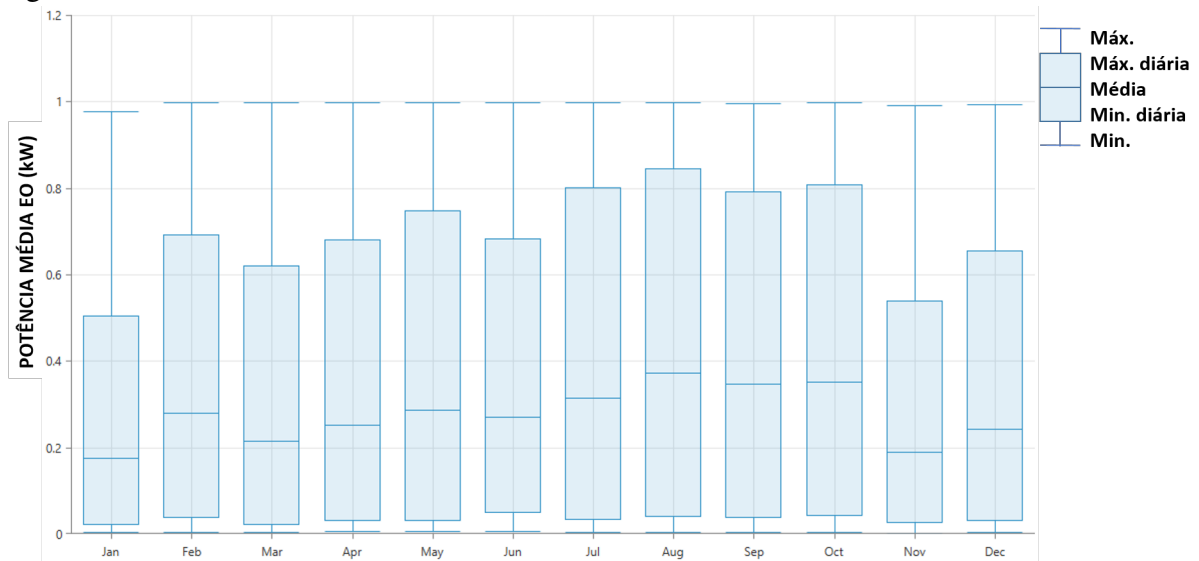
Figura 33 – Potência FV mensal.



Fonte: Adaptado de HOMER (2019).

A Figura 34 demonstra a potência EO, ao longo do ano, com os meses de janeiro e novembro como mínimos e meses de julho, agosto, setembro e outubro como meses onde são atingidos os máximos.

Figura 34 – Potência EO mensal.



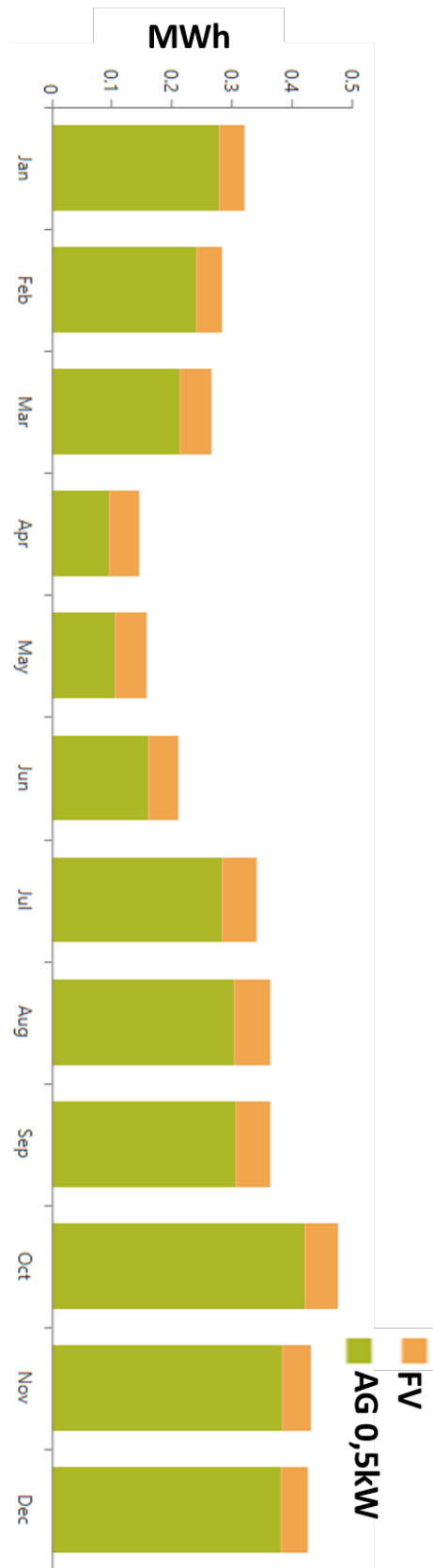
Fonte: Adaptado de HOMER (2019).

Na Figura 35 é apresentada a eletricidade gerada mensal pelo SH, e pode-se observar que no segundo semestre do ano, a produção é maior, com destaque para os meses de Abril, Maio e Junho nos quais a geração de eletricidade é a menor, consequente de um período com menor velocidade do vento, de acordo com os dados apresentados no capítulo 4.

Na Figura 36 é apresentado o nível carga da bateria ao longo dos meses do estudo, podendo se observar que os níveis de carga da bateria mais baixos coincidem com os meses de menor geração EO, sendo estes Abril, Maio e Junho, por outro lado em todos os meses do ano, as médias são mantidas acima de 95% o que indica que o sistema na maior do tempo abastece a carga sem precisar do apoio da bateria.

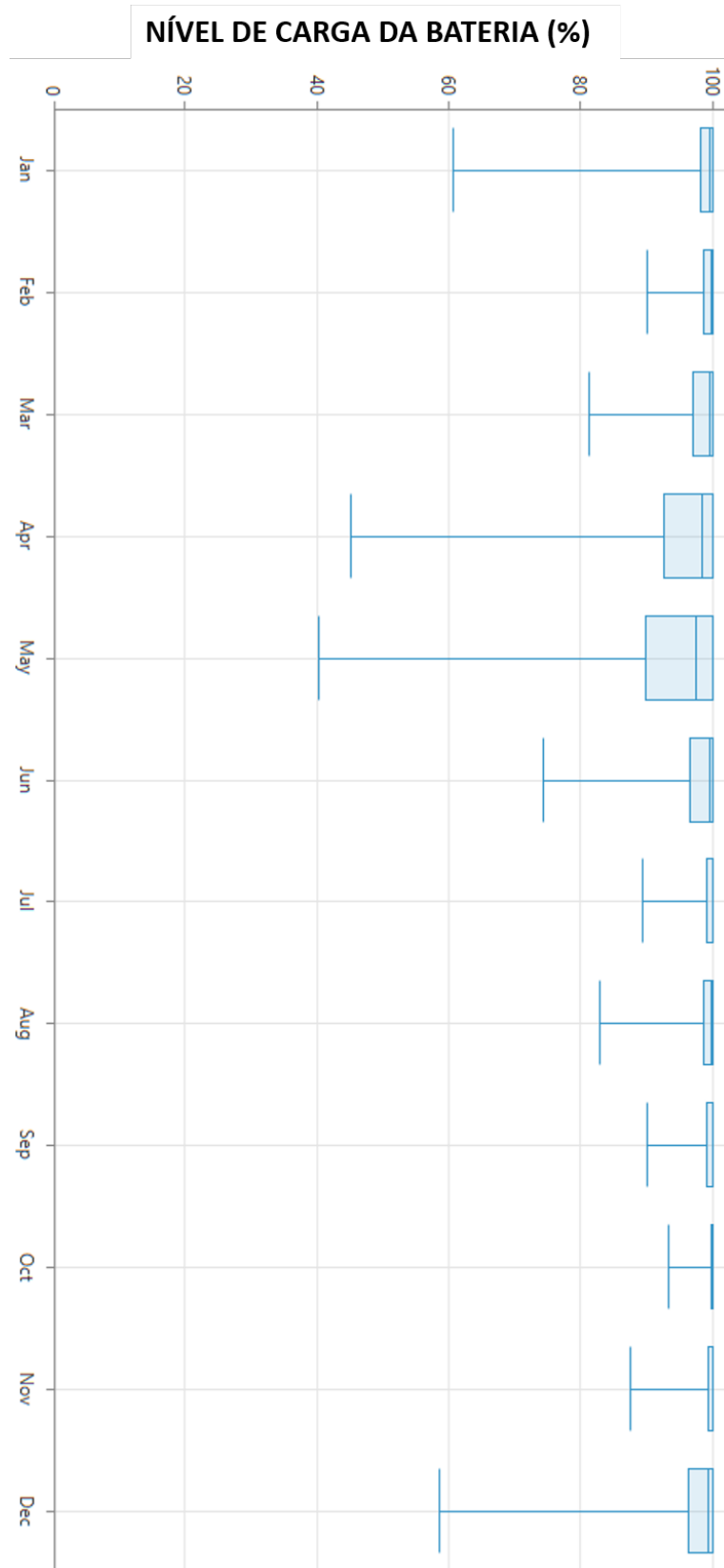
Na Figura 37 observa-se o perfil de carga da bateria, onde novamente os meses de Abril, Maio e junho apresentam oscilações na carga da bateria no final do dia, mas também pode ser observado que o nível médio de carga da bateria ainda assim se mantém acima dos 90% o que significa que a carga não sofre com essas pequenas oscilações.

Figura 35 – Eletricidade gerada mensal (Combinação EO-FV).



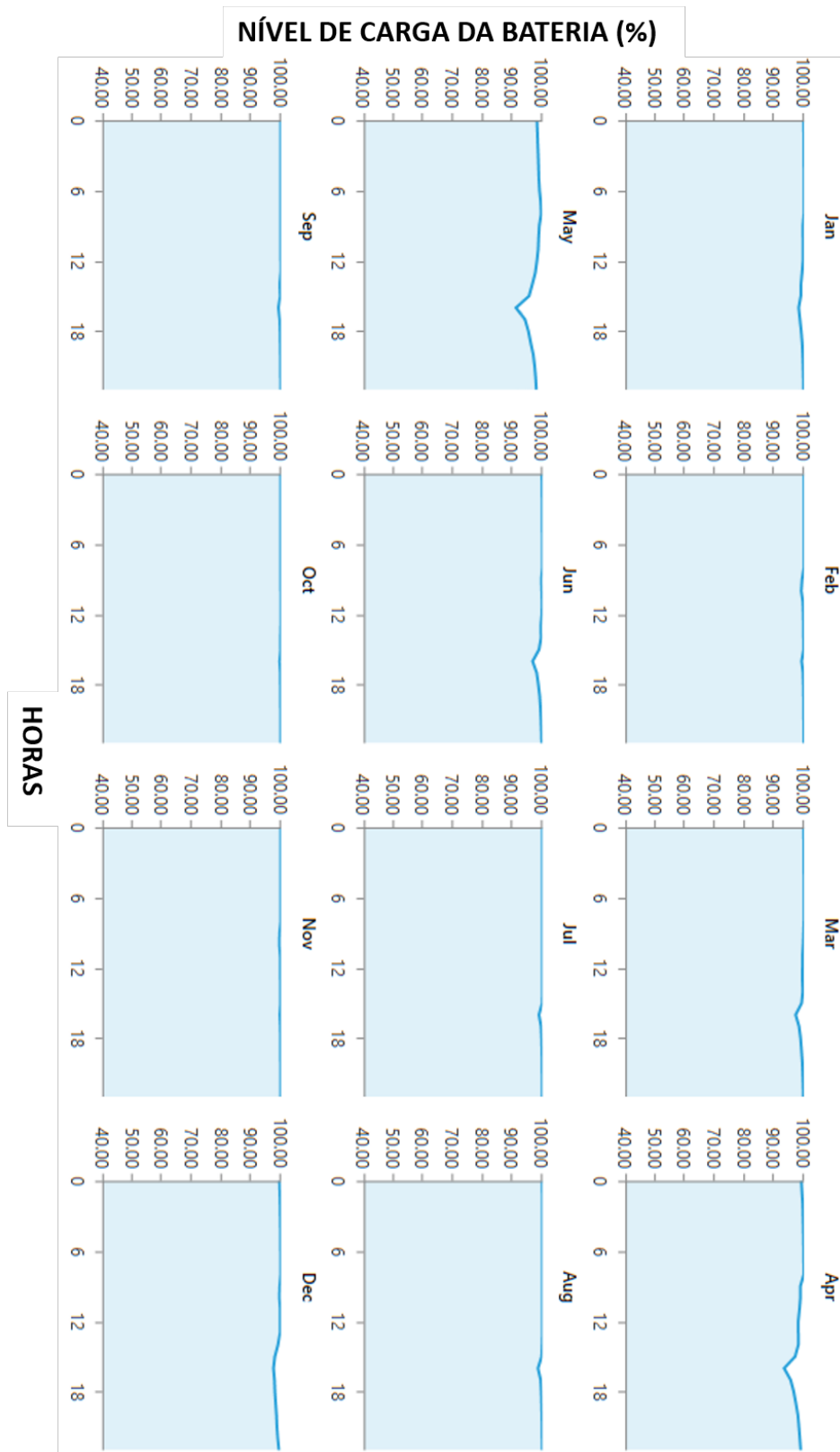
Fonte: HOMER (2019).

Figura 36 – Nível de carga de bateria (%).



Fonte: HOMER (2019).

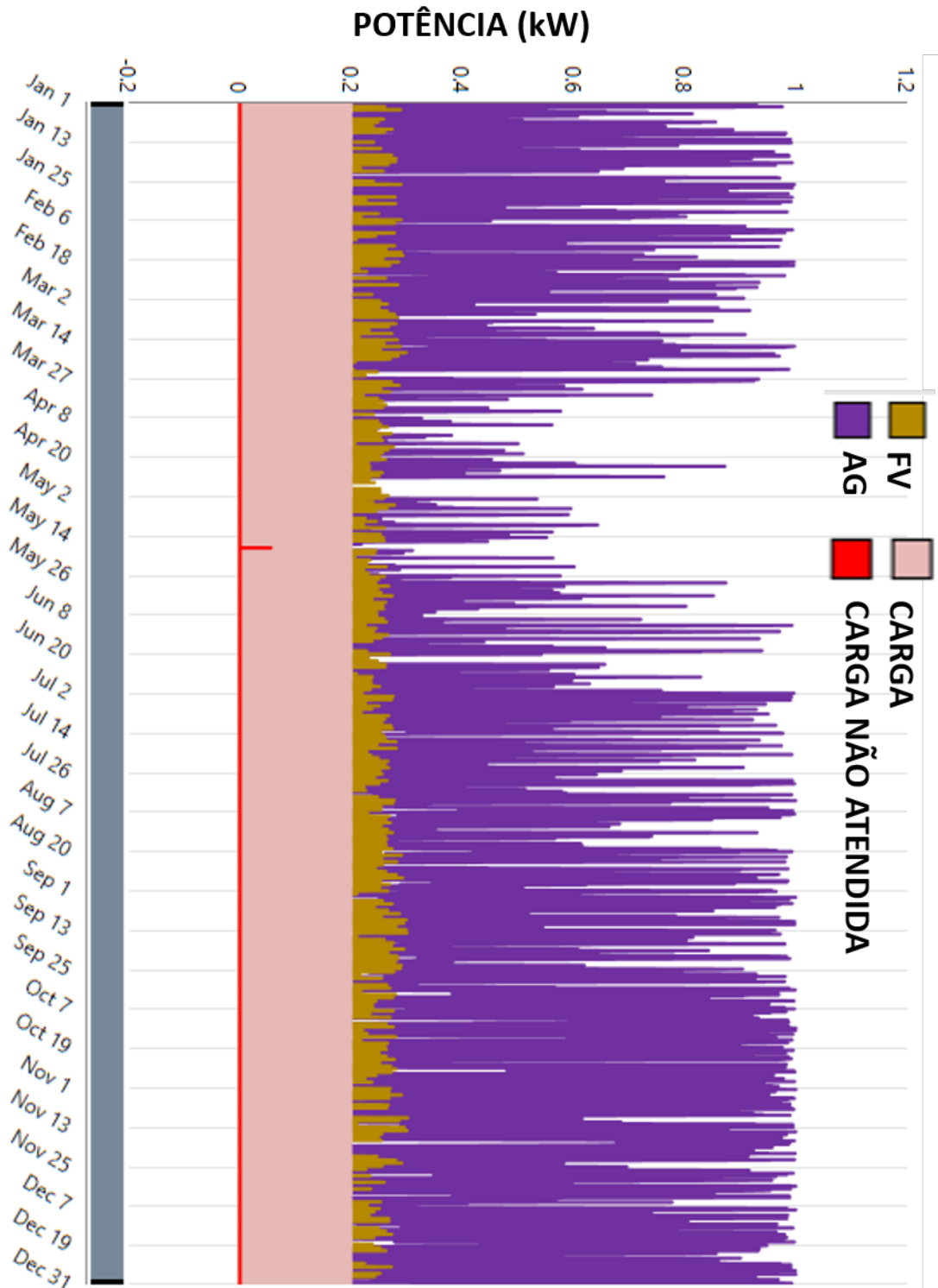
Figura 37 – Perfil de carga de bateria (%).



Fonte: HOMER (2019).

A Figura 38 mostra a carga da planta de dessalinização por OR na faixa de 200 W, a geração EO e FV e carga atendida no período em estudo, onde pode-se observar que o SH consegue abastecer a carga na totalidade.

Figura 38 – Perfil anual do SH.



Fonte: HOMER (2019).

7.4 Análise dos Resultados

As metodologias de dimensionamentos M1 e M2 apresentaram resultados iguais, o que validou a utilização dos mesmos.

O SH de Petrolina composto por 1 AG de 0,5 kW, 1 módulo FC de 330 W, 2 baterias e 1 inversor de 1,2 kW, teve de inserir mais 1 bateria em relação ao SH de Parnaíba, para poder suprir o deficit de geração de eletricidade em meses como Abril, Maio e Junho, meses nos quais a geração EO é abaixo da média, o que revelou ser importante no final do dia quando a irradiação solar diminui para os meses mencionados.

A geração da eletricidade dos SHs na sua maior parte é proveniente da geração EO, tanto em Petrolina como em Parnaíba, referente a 2417 kWh e 3165 kWh respectivamente, sendo estes 79,3 e 83,9% das gerações de cada SH respectivamente.

Petrolina apresenta melhores médias de irradiação solar que Parnaíba, gerando 632 kWh ao ano, sendo que Parnaíba gera apenas 609 kWh ao ano, ambas as gerações importantes para complementar o abastecimento da carga ao longo do período diurno.

Conclui-se que a partir dos dados de Petrolina e Parnaíba, as metodologias de dimensionamento conseguiram se adaptar e como resultado os SHs conseguiram abastecer a carga na totalidade.

7.5 Validação do dimensionamento dos Projetos - 2 kW

De modo a testar a aplicação das metodologias propostas nesta dissertação para uma carga maior, foram novamente comparadas as metodologias M1 apresentada por Balbuena (2013) e M2 aplicado no HOMER para a planta de carga de 2 kW, com um perfil de funcionamento diário de 8 horas, referente ao período das 9 até as 17 h.

Na Tabela 13 são apresentados os resultados do dimensionamento, na qual pode-se observar que ambas as metodologias apresentaram resultados semelhantes, tendo divergência no número de baterias, tanto em Petrolina sendo 25 para M1 e 26 para M2, como em Parnaíba com o número de baterias sendo 21 para M1 e 20 para M2.

Tabela 13 – Resultados da validação dos projetos.

Componentes	Método 1		Método 2	
	Petrolina	Parnaíba	Petrolina	Parnaíba
Aerogerador	1 und. x 0,5 kW	1 und. x 0,5 kW	1 und. x 0,5 kW	1 und. x 0,5 kW
Módulos FV	12 und. x 330 W	15 und. x 330 W	12 und. x 330 W	15 und. x 330 W
Baterias	25 und. de 48 Ah	21 und. de 48 Ah	26 und. de 48 Ah	20 und. de 48 Ah
Inversor	1 und. de 4,6 kW	1 und. de 5 kW	1 und. de 4,6 kW	1 und. de 5 kW

Fonte: HOMER (2019).

7.6 Resultados de Petrolina

Neste tópico a partir dos resultados do método M2, foi simulado o SH EO-FV de Petrolina, para apresentar os dados técnico-financeiros da planta e com os resultados da simulação apresentar as características de funcionamento da planta de carga de 2 kW. São apresentados na Tabela 14 os resultados técnico-Financeiros para o SH EO-FV de Petrolina com carga de 2 kW.

Tabela 14 – Sumário do SH EO-FV em Petrolina

Planta FV (W)	AG (kW)	Inversor (kW)	Bateria (Ah)
12 und. x 330	1 und. x 0,5	1 und. x 4,6	26 und. x 48
Investimento Inicial	COE (R\$/kWh)	Custo Operacional por ano (R\$/ano)	VPL (R\$)
51.801	0,82	800	65.053

Fonte: HOMER (2019)

De acordo com o resultado técnico-financeiro apresentado, segue na Tabela 15 o sumário dos custos detalhado apresentado em capital inicial, troca de equipamentos e manutenção, desta forma obtendo o valor total do SH EO-FV de Petrolina.

Tabela 15 – Custos do SH EO-FV em Petrolina

Componentes	Capital (R\$)	Troca de Equipamentos (R\$)	Manutenção (R\$)	Total (R\$)
Planta FV + Inversor	19,840	0	0	19,840
Aerogerador	20.000	0	1.292	21.292
Bateria	11.960	11.960	0	23.920
Sistema	51.801	11.960	1.292	65.053

Fonte: Adaptado de HOMER (2019)

Simulações do SH EO-FV de Petrolina

Neste tópico foi simulado o comportamento SH EO-FV proposto nesta dissertação, foram realizadas simulações de longo prazo (ou seja, anual), para atender à demanda de energia da carga de 2 kW, com os dados meteorológicos referentes a Petrolina. Os resultados da simulação mostraram que na planta híbrida EO-FV, a geração EO detém participação de 24,2% e sendo os restantes 75,8% da geração FV, num total de 10.006 kWh gerados no ano, apresentados na Tabela 16.

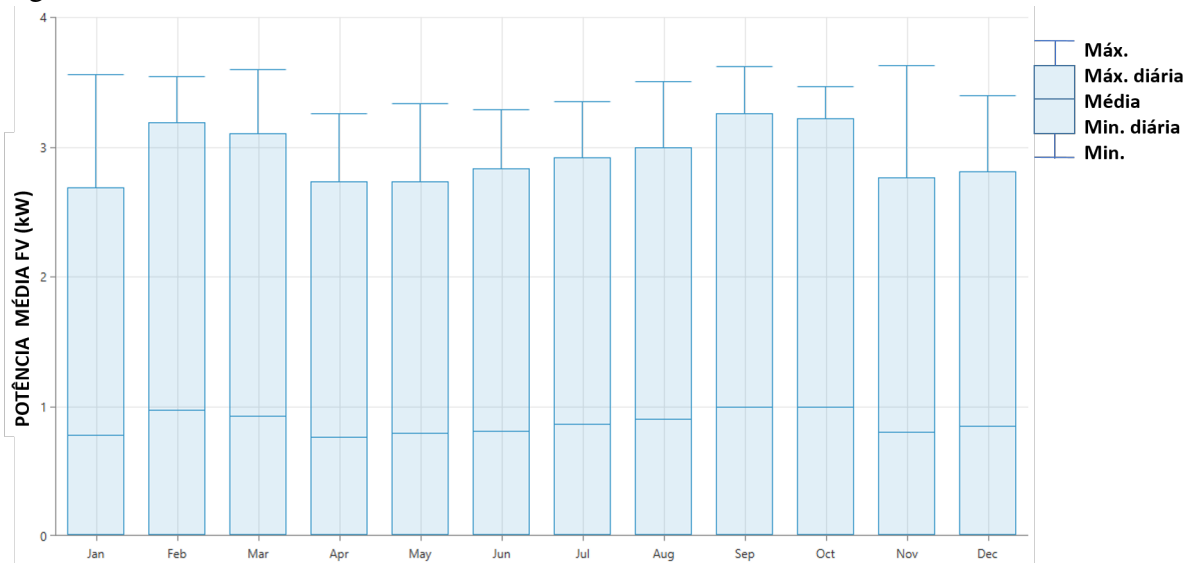
Tabela 16 – Dados de geração de energia elétrica do SH de Petrolina.

Componentes	kWh/ano	%
Módulos FV	7.589	75,8
Aerogerador	2.417	24,2
Total	10.006	100

Fonte: HOMER (2019)

A potência FV é apresentada na Figura 39 pode-se observar que apresenta os meses de máxima potência em Fevereiro e Março no primeiro semestre e setembro e outubro no segundo semestre, conseguindo contribuir com 75,8 % na parcela de eletricidade total gerada pelo SH EO-FV.

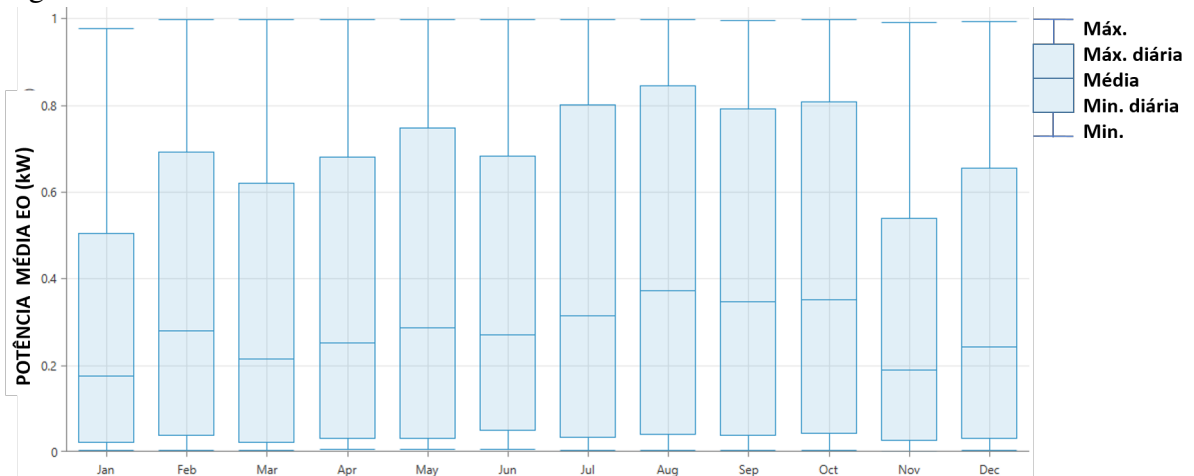
Figura 39 – Potência FV mensal.



Fonte: Adaptado de HOMER (2019).

A potência EO é apresentada na Figura 40 pode-se observar que apresenta mínimos em janeiro no primeiro semestre e em novembro no segundo semestre do ano, com máximos no segundo semestre do ano referente aos meses de julho, agosto, setembro e outubro, contribuindo com uma parcela de 24,2% da eletricidade na combinação EO-FV, como mencionado anteriormente.

Figura 40 – Potência EO mensal.



Fonte: Adaptado de HOMER (2019).

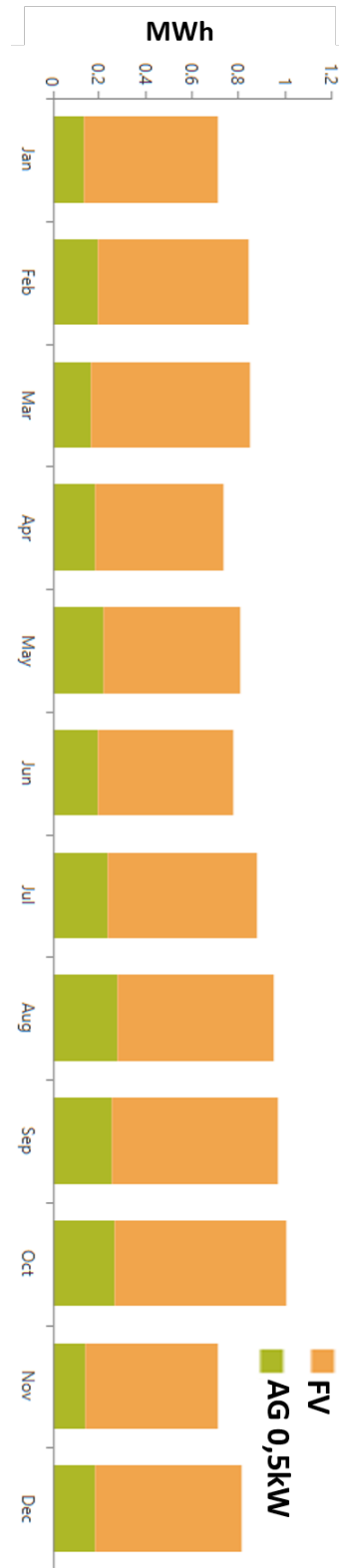
Na Figura 41 é apresentado o gráfico de eletricidade gerada na combinação EO-FV, onde é notória a disparidade entre a produção FV e EO, com melhores meses no segundo semestre do ano, e a geração EO apresenta os melhores meses em agosto e outubro. Contudo se verifica que a geração EO-FV apresenta os melhores meses no segundo semestre, e apresenta piores meses em janeiro e novembro, que coincide com os piores meses de geração EO.

Pode-se concluir que apesar da geração EO ser uma parcela de 24,2 %, a participação dela no SH é indispensável, pois nos meses de baixa geração EO, janeiro e novembro, coincidem com os piores meses do SH EO-FV.

Nas Figuras 42 é apresentado o nível de carga da bateria ao longo dos meses, e pode-se observar que os meses de menor geração EO afetam o nível de carga da bateria, sendo que nos meses de janeiro e novembro os níveis de carga atingem o mínimo de 40 %, sendo que nos demais meses os mínimos atingem 60% ou 45% em dezembro.

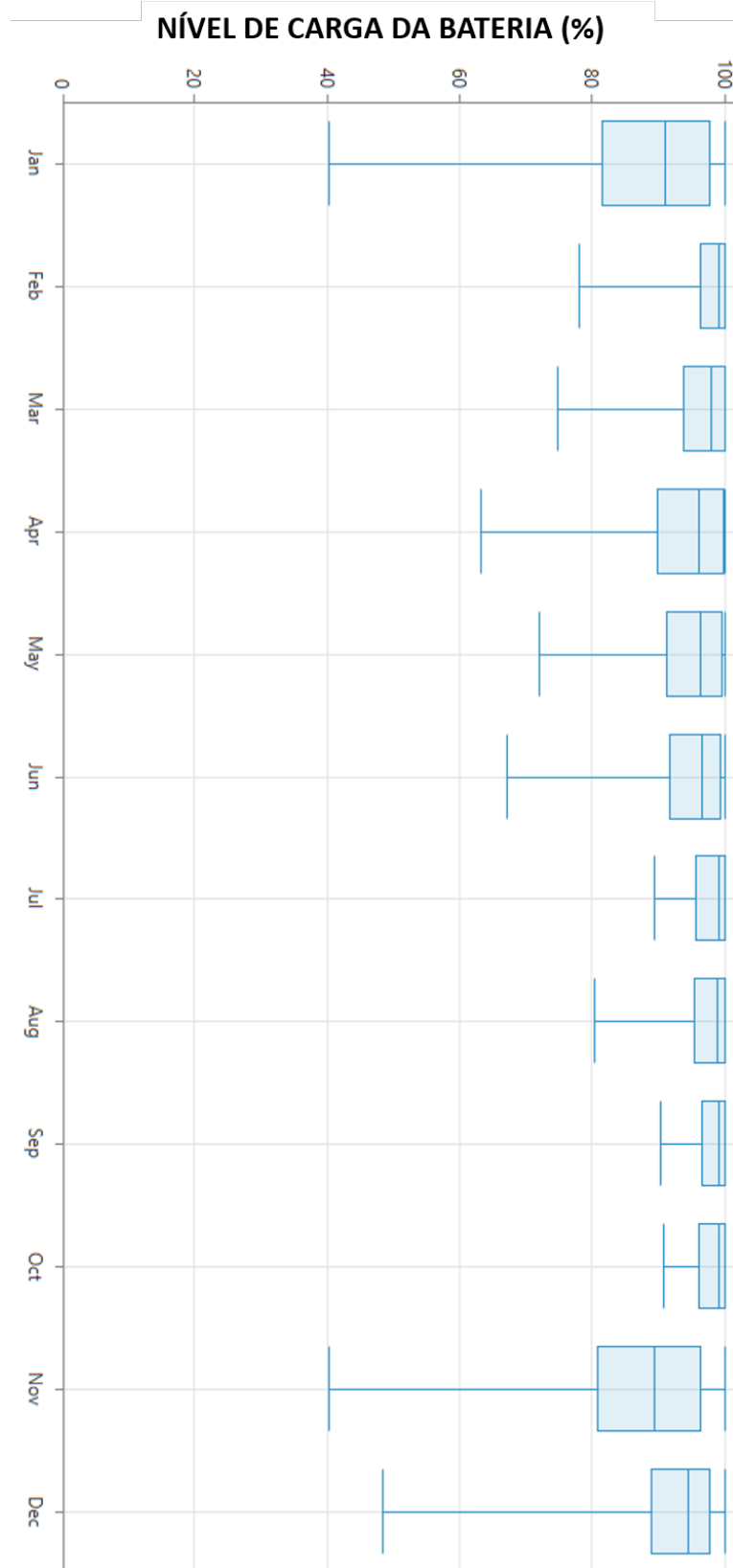
Na Figura 43 é notável que o perfil de carga da bateria se altera no final do dia quando a geração FV diminui e a geração EO não consegue abastecer a carga sozinha, apresentando uma ocasião em que o banco de baterias tem de abastecer a carga.

Figura 41 – Eletricidade gerada mensal (Combinação EO-FV).



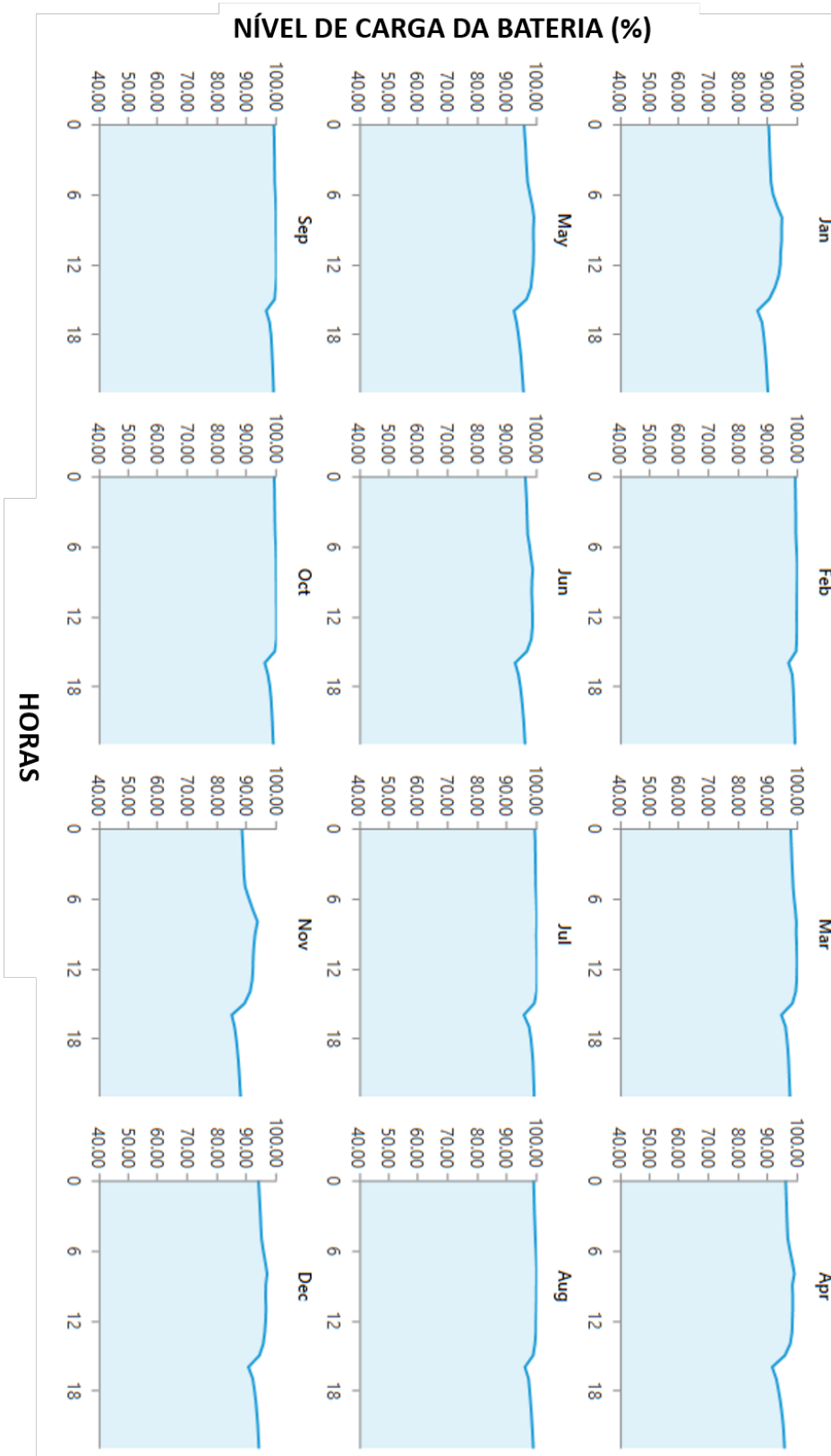
Fonte: HOMER (2019).

Figura 42 – Nível de carga de bateria (%).



Fonte: HOMER (2019).

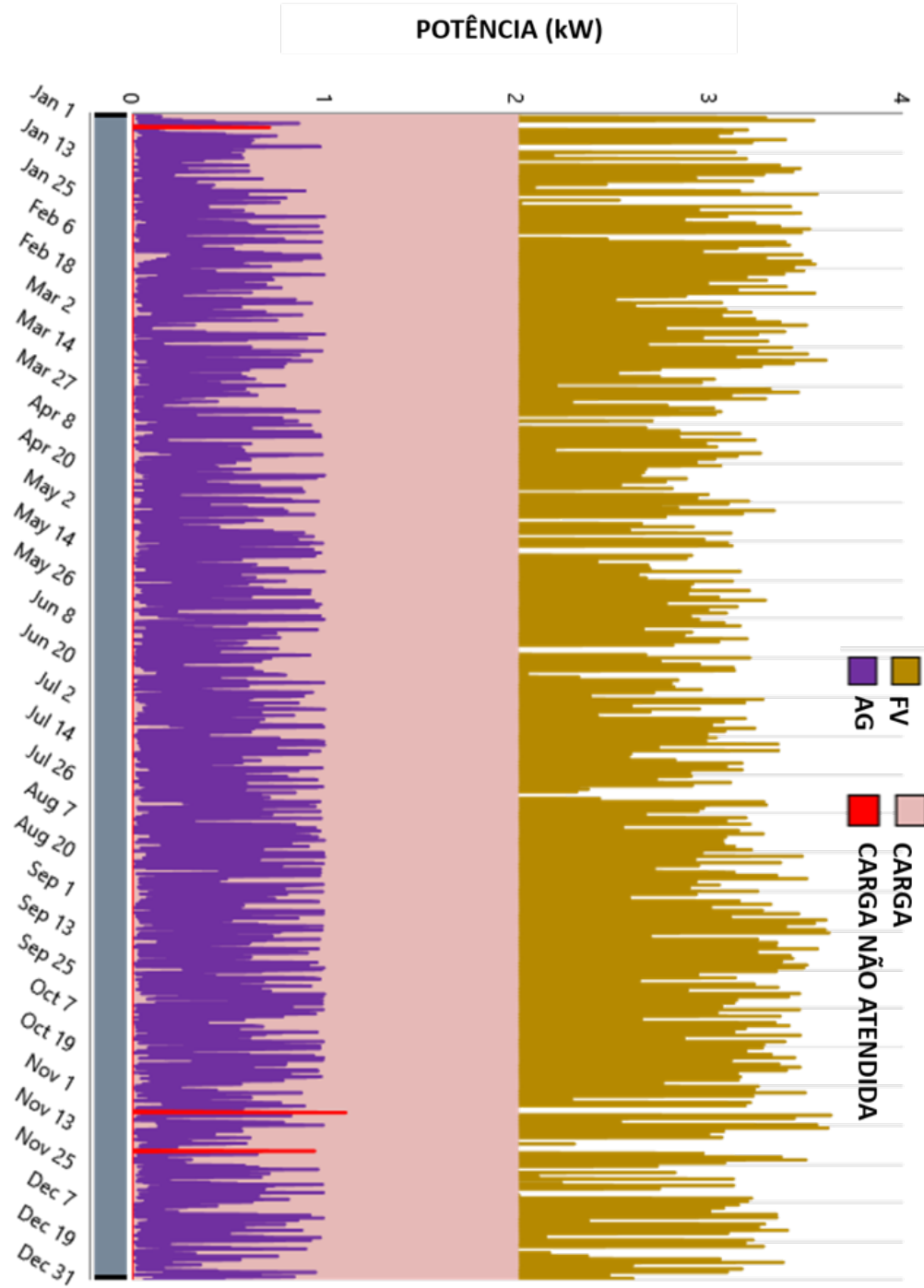
Figura 43 – Perfil de carga de bateria (%).



Fonte: HOMER (2019).

A Figura 44 mostra a carga da planta de dessalinização por OR na faixa de 2 kW, a geração EO e FV e carga não atendida no panorama anual do estudo. Pode-se observar que o SH não atende na totalidade a carga, havendo falhas acentuadas em janeiro e novembro.

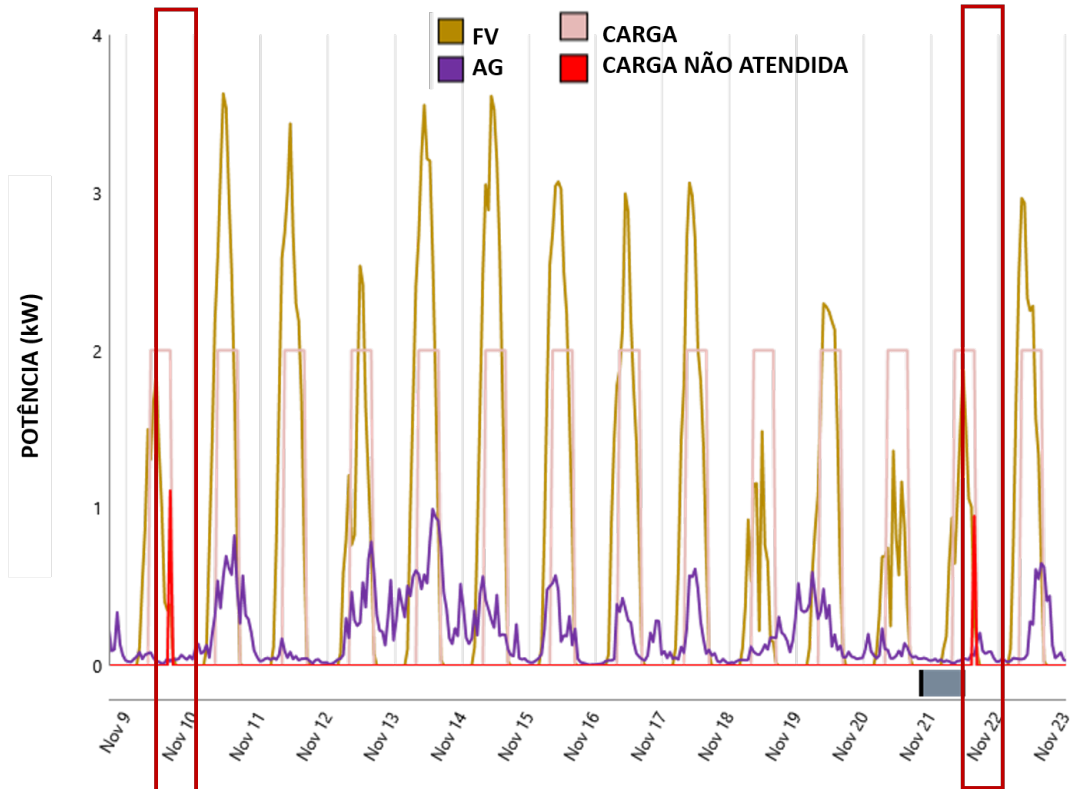
Figura 44 – Perfil anual do SH.



Fonte: HOMER (2019).

Na Figura 45 são apresentadas as falhas de novembro, no qual pode-se observar que ambas as falhas são em dias característicos com baixa produção FV, combinando com a baixa produção EO, no qual as falhas ocorrem no final do dia, quando a geração FV está diminuindo a sua potência.

Figura 45 – Novembro - Perfil no abastecimento da carga.



Fonte: HOMER (2019).

Na situação em que a geração híbrida não consegue atender a carga, o armazenamento em bateria é acionado para que estas falhas sejam compensadas e deste modo o funcionamento da carga não seja afetado. Desta forma pode-se concluir que o SH dimensionado não é capaz de suprir a carga na sua totalidade, sendo necessário o acionamento do banco de baterias.

Deste modo pode-se concluir que as falhas não são recorrentes, e que o sistema de armazenamento dimensionado atende perfeitamente às falhas apresentadas, conseguindo suprir a carga nessas situações.

7.7 Resultados da Parnaíba

Neste tópico foi simulado o SH EO-FV de Parnaíba, para atender à demanda de energia da carga de 2 kW, são apresentados os resultados do dimensionamento do SH EO-FV de Parnaíba na Tabela 17.

Tabela 17 – Sumário do SH EO-FV em Parnaíba

Planta FV (W)	AG (kW)	Inversor (kW)	Bateria (Ah)
15 und. x 330	1 und. x 0,5	1 und. x 5	20 und x 48
Investimento Inicial	COE (R\$/kWh)	Custo Operacional por ano (R\$/ano)	VPL (R\$)
52.810	0,81	800	63.302

Fonte: HOMER (2019).

De acordo com o resultado técnico-financeiro apresentado, segue na Tabela 18 o sumário dos custos apresentado em capital inicial, troca de equipamentos e manutenção, desta forma obtendo o valor total do SH EO-FV de Parnaíba.

Tabela 18 – Custos do SH EO-FV em Parnaíba

Componentes	Capital (R\$)	Troca de Equipamentos (R\$)	Manutenção (R\$)	Total (R\$)
Planta FV + Inversor	23.610	0	0	23.610
Aerogerador	20.000	0	1.292	21.292
Bateria	9.200	9.200	0	18.400
Sistema	52.810	9.200	1.292	63.302

Fonte: Adaptado de HOMER (2019).

Simulações do SH EO-FV de Parnaíba

Neste tópico foram simuladas as gerações do SH EO-FV proposta nesta dissertação, foram realizadas simulações de longo prazo (ou seja, anual), para atender à demanda de energia da carga de 2 kW, com os dados meteorológicos referentes a Petrolina. Os resultados da simulação mostraram que na planta híbrida EO-FV, a geração EO detém participação de 25,7 % e sendo os restantes 74,3 % abastecidos pela geração FV, num total de 12.305 kWh gerados no ano, apresentados na Tabela 19.

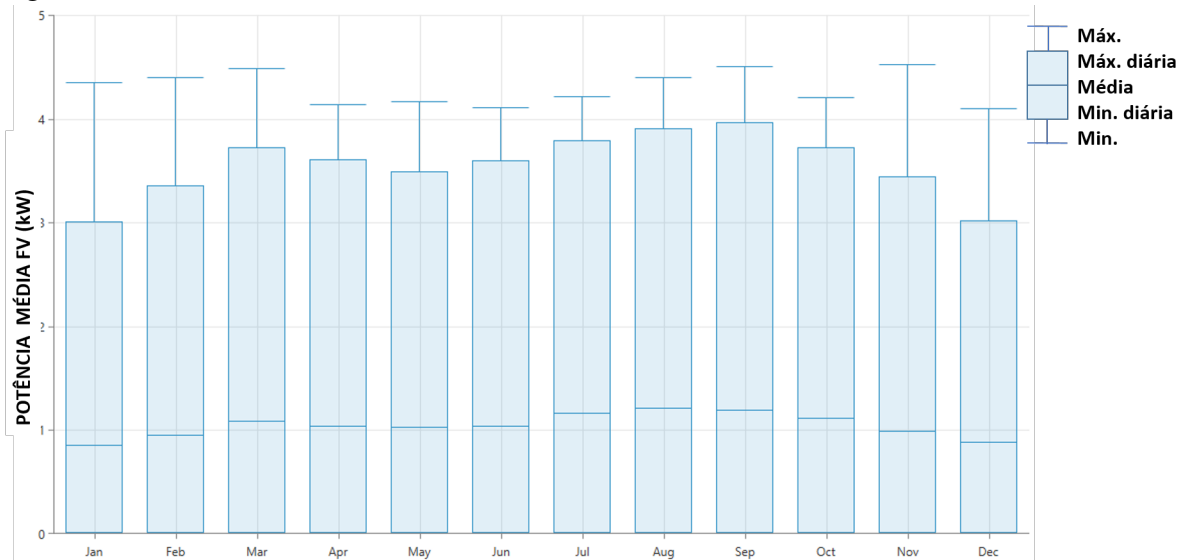
Tabela 19 – Dados de geração de energia elétrica do SH de Parnaíba.

Componentes	kWh/ano	%
Módulos FV	9.140	74,3
Aerogerador	3.165	25,7
Total	12.305	100

Fonte: HOMER (2019)

A potência FV e EO é apresentada em separado nas Figuras 46 e 47 respectivamente, pode-se observar na primeira que a geração FV é consistente ao longo do ano, com geração de 74,3 % na parcela de eletricidade total gerada pelo SH EO-FV, com destaque para o segundo semestre do ano com gerações bem acima de média.

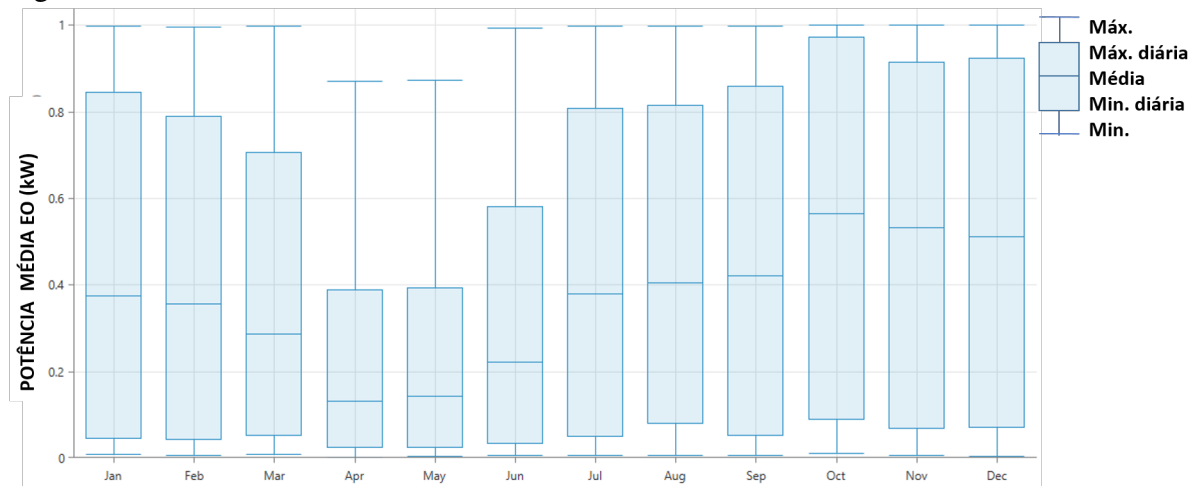
Figura 46 – Potência FV mensal.



Fonte: Adaptado de HOMER (2019).

Na Figura 47 observa-se que a potência EO que apresenta meses como outubro, novembro e dezembro de máximas, e meses os meses de abril, maio e junho com mínimos, havendo uma grande discrepância entre os meses mencionados.

Figura 47 – Potência EO mensal.



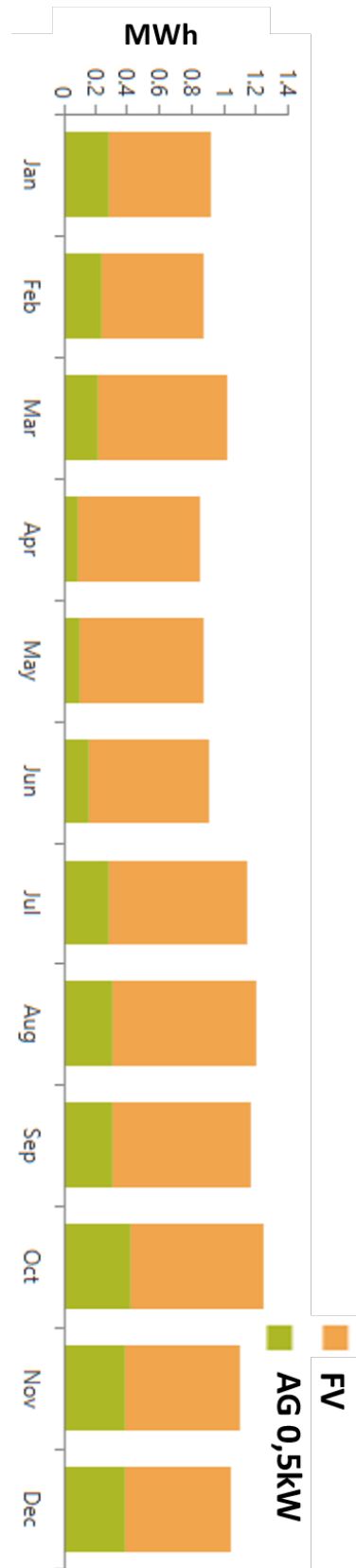
Fonte: Adaptado de HOMER (2019).

Na Figura 48 é apresentada a eletricidade gerada mensal pela combinação EO-FV, no qual pode-se concluir alguns parâmetros, referente á geração ser maior no segundo semestre do ano, estando de acordo com os dados apresentados no capítulo 4. No primeiro semestre é evidente que a geração eólica nos meses de abril, maio e junho, teve pouca participação, isso observado anteriormente.

Nas Figuras 49 e 50 são apresentados o nível de carga da bateria ao longo dos meses e o perfil de carga da bateria respectivamente, podendo se concluir que nos meses de janeiro, abril e maio o SH consegue suprir a carga, mas que o nível de carga na bateria oscila de acordo com a falta de geração de eletricidade da combinação EO-FV, nomeadamente nos meses de abril, maio e junho, mencionados como meses de pouco geração EO.

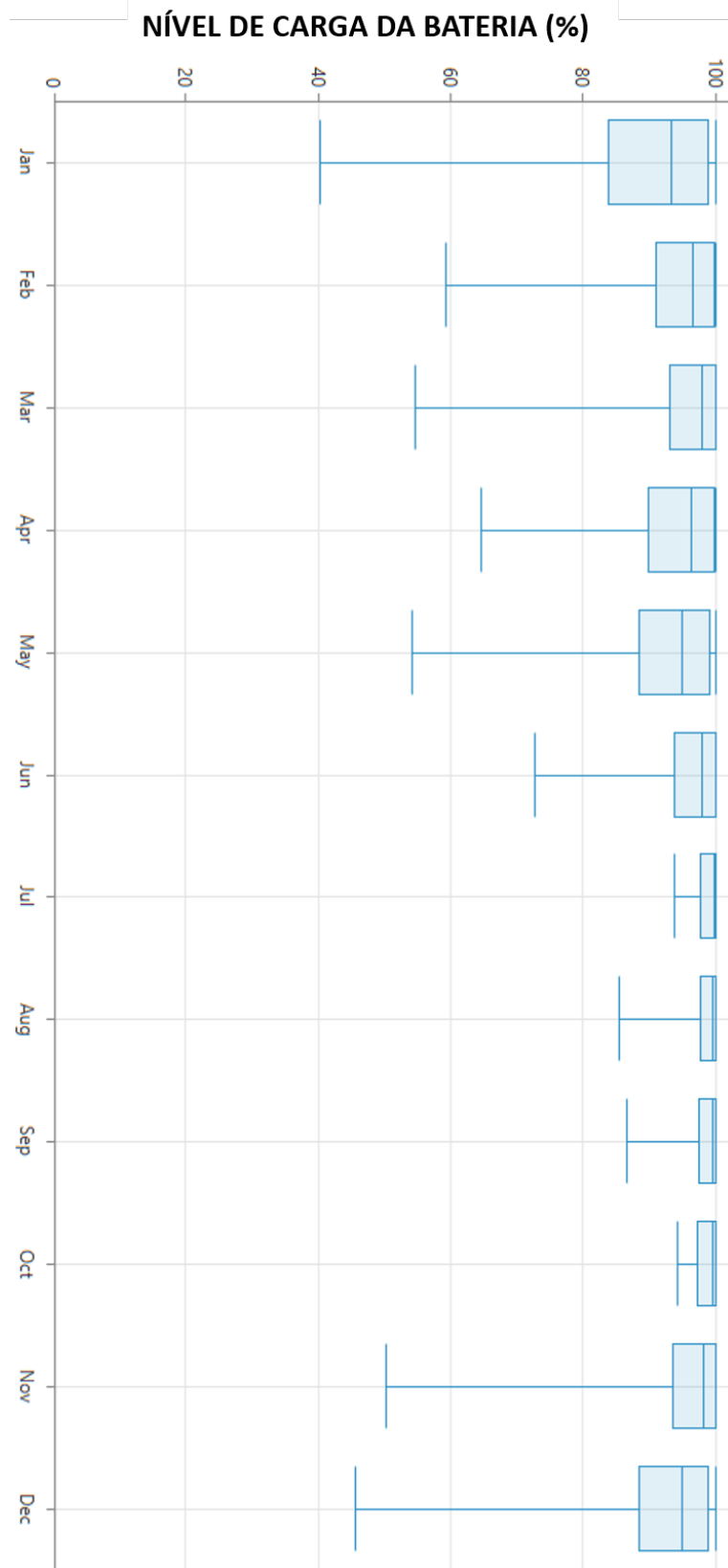
Na Figura 50 do perfil de carga conclui-se que apesar da oscilação no nível de carga da bateria no primeiro semestre do ano, também existem oscilações nos meses de novembro e dezembro durante o período da tarde quando a geração FV diminui.

Figura 48 – Eletricidade gerada mensal (Combinação EO-FV).



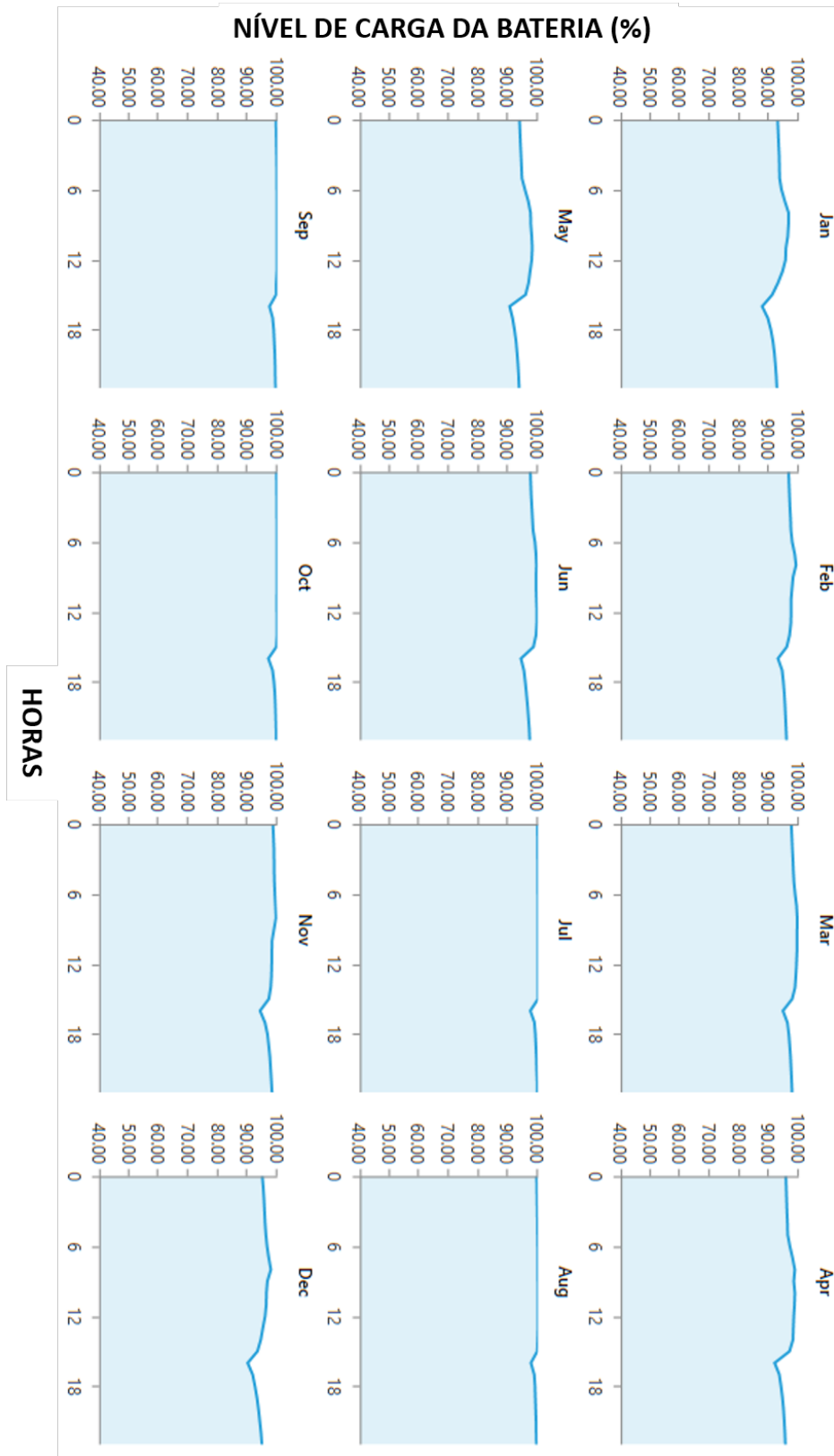
Fonte: HOMER (2019).

Figura 49 – Nível de carga de bateria (%).



Fonte: HOMER (2019).

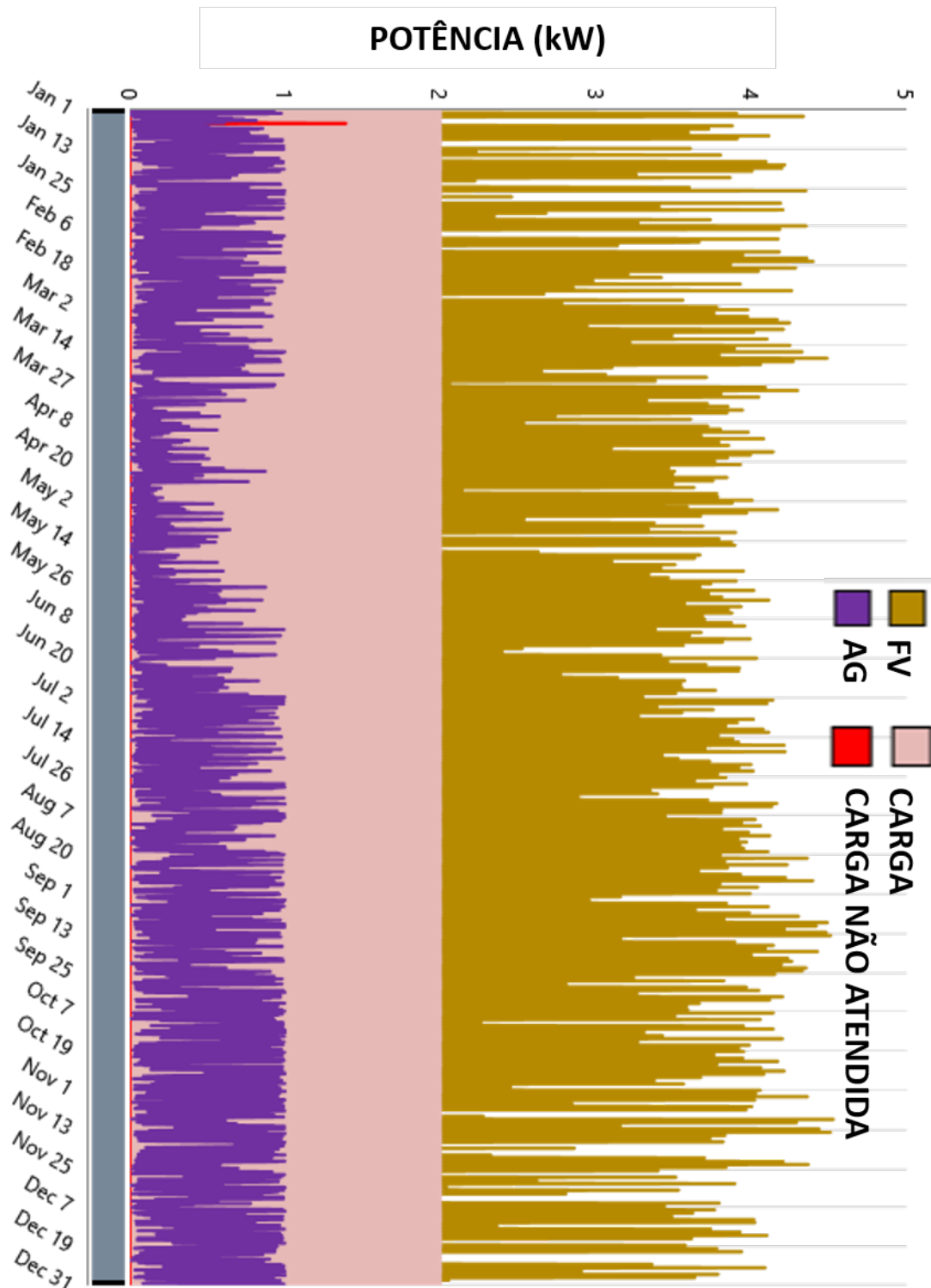
Figura 50 – Perfil de carga de bateria (%).



Fonte: HOMER (2019).

Na Figura 51 apresenta-se a carga da planta de dessalinização por OR na faixa de 2 kW, a geração EO e FV e carga atendida no panorama anual do estudo. Pode observar que o SH precisa de acionar as baterias para atender a carga na totalidade, havendo falhas acentuadas em janeiro.

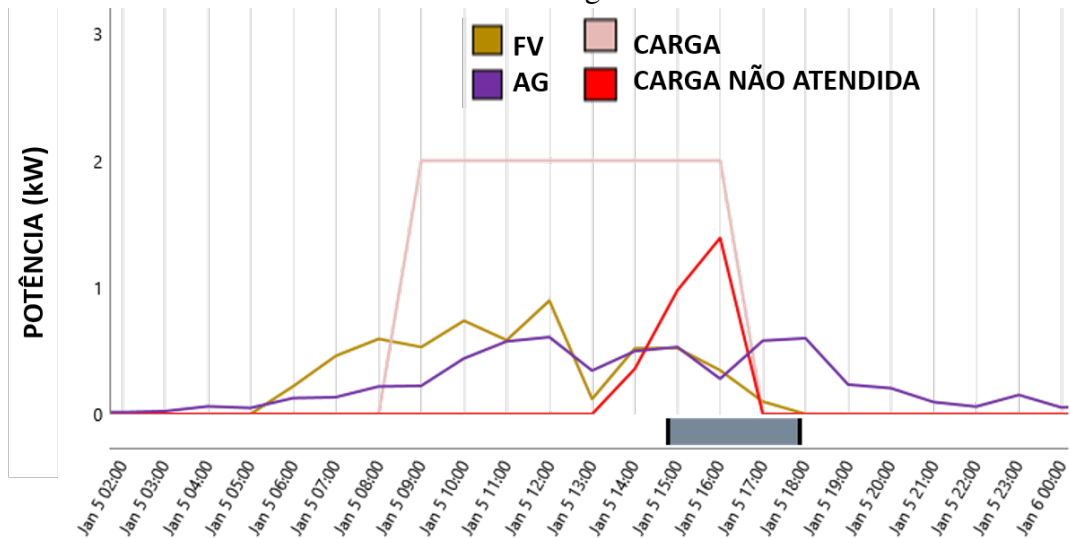
Figura 51 – Perfil anual do SH.



Fonte: HOMER (2019).

Na Figura 52 apresenta-se a falha de janeiro, mencionada anteriormente, e observa-se que tem um perfil que mostra o período em que a irradiação solar diminui ao longo da tarde, e que a geração EO não consegue suprir a queda da geração FV, o que faz com que seja acionado o armazenamento em bateria para suprir essa demanda.

Figura 52 – Janeiro - Perfil no abastecimento da carga.



Fonte: HOMER (2019).

Conclui-se que o SH dimensionado precisa acionar as baterias para suprir a demanda pretendida, de acordo os gráficos apresentados, nota-se que existe um perfil de geração FV que abastece a maior parte da demanda, mas que no período da tarde em que a geração FV diminui, a geração EO torna-se importante para suprir essa queda, e naturalmente se a geração EO não supre essa demanda, as baterias são acionadas para compensar a demanda.

7.8 Análise dos Resultados

Pode-se concluir que as metodologias de dimensionado dos SHs se mostraram importantes nesta etapa, pois devido á forma de cada geração se relaciona com as condições meteorológicas específicas tanto de Petrolina como de Parnaíba estas demonstraram que em períodos de pouca geração, o sistema se manteve em funcionamento devido ao armazenamento em bateria.

O SH de Petrolina apresenta uma configuração com 13 módulos e o de Parnaíba 15 módulos, mas por outro lado o Petrolina tem um banco de baterias maior com 26 unidades e Parnaíba com apenas 20 unidades, deste modo estas configurações diferentes acomodam melhor o perfil de geração energética de cada SH.

Petrolina como tem uma irradiação solar com maiores médias, necessita menos da capacidade FV para gerar a eletricidade para abastecer a carga, mas por outro lado, precisa abastecer mais para momentos no qual a geração EO não consegue suprir a carga.

Parnaíba apresentou uma configuração com 15 módulos, o que reflete o índice menor de irradiação solar no local, mas por outro lado a geração EO demonstra um potencial bem maior que em Petrolina, segundo o perfil de carga das baterias nos meses de abril, maio e junho, que são os meses de menor geração EO, ele se mantém acima dos 90 % com pequenas quedas no período do final de tarde.

Pode-se concluir que para conseguir suprir a carga apresentada, os SHs tanto em Petrolina como em Parnaíba, se mostram dependentes do banco de baterias.

8 RESULTADOS WAVE

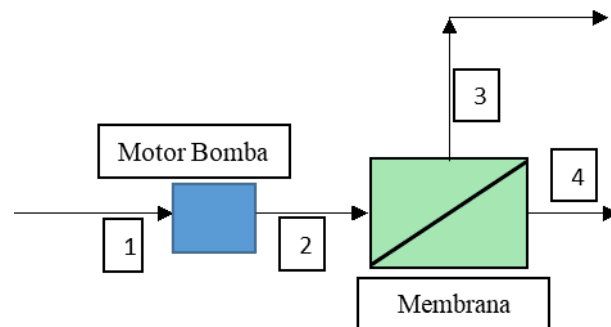
Neste tópico são apresentadas as características e os resultados das plantas de dessalinização para Petrolina e Parnaíba. Para simular o funcionamento da planta de dessalinização por OR, passou-se a trabalhar com os dados de entrada do WAVE, e de modo a atingir a meta de produção de água com até 500 mg/L, foram consideradas as características de funcionamento da motobomba, o tipo de salinidade da água e membrana.

8.1 Planta de Dessalinização (200 W)

Nesta secção são apresentados os resultados da simulação de produção da planta de dessalinização de 200 W para Petrolina e Parnaíba.

Primeiramente foram definidos os parâmetros de entrada, sendo esta bomba Shurflo 2088, com vazão até 19,2 m³/dia e pressão até 35 mca (50 psi), salinidade da água de 1500 mg/L e membrana ECO PRO-440i. O WAVE apresentou uma configuração para a planta de OR, caracterizada por 1 vaso de pressão com 1 membrana, de acordo com o apresentado na Figura 53.

Figura 53 – Configuração da Planta de OR de Petrolina (200 W).



Fonte: Adaptado de WAVE (2019)

Deste modo é apresentado na Tabela 20 os resultados da simulação de acordo com as etapas da planta de OR no WAVE, de 1 a 4 descritos como alimentação da planta OR, pós-bomba, concentrado e permeado, respetivamente, como também as características da água para cada etapa.

Tabela 20 – Resultados da planta de dessalinização - OR.

#	Descrição	Vazão (m ³ /dia)	STD (mg/L)	Pressão (Psi)
1	Alimentação da planta OR	17,42	1.500	0,0
2	Pós-bomba	17,42	1.500	20,0
3	Concentrado	15,07	1.680	14,9
4	Permeado	2,35	377,7	0,1

Fonte: WAVE (2019)

Pode-se observar que a planta de OR consegue produzir 2,35 m³/dia, sendo que o permeado atinge um STD da água potável de 377,7 mg/L, dentro do padrão de qualidade da água é apropriada ao consumo humano. É importante notar que o fluxo de alimentação da planta de dessalinização é de 17,42 m³/dia e 20 psi de pressão, abaixo do fluxo máximo da motobomba, isto se deve a uma mecânica para preservar a vida útil da membrana para OR.

Outros parâmetros da planta de dessalinização descritos no capítulo 6 foram calculados, sendo estes gradiente de pressão (Pf) de 17,35 psi, perda de carga (ΔP) de 5,1 psi, rendimento (Y) de 13,49% e o Percentual de rejeição de sais (PRS) de 74,8 %. De acordo com os resultados descritos, é apresentado um comparativo dos resultados obtidos na Tabela 21.

Tabela 21 – Comparação de variáveis.

Variáveis	1	Petrolina	Parnaíba
COE (R\$/kWh)	2,63 - 10,06	3,74	3,63
CEE (kWh/m ³)	8 - 20	9,79	9,79
CEP (R\$/m ³)	21,04 - 48,38	33,95	32,96

Fonte: 1-Alkaiasi *et al.* (2017) e WAVE (2019)

Partindo do princípio que tanto Petrolina como Parnaíba, utilizam a mesma planta de dessalinização de 200 W, tendo assim o mesmo Consumo Específico de eletricidade (CEE) de 9,79 kWh/m³, o Custo de Energia (COE) se torna importante pois afeta o Custo Específico de Produção CEP de forma direta no cálculo final. Assim Parnaíba tendo um menor COE apresentando na Tabela 21, conseqüentemente apresenta menor valor de (CEP).

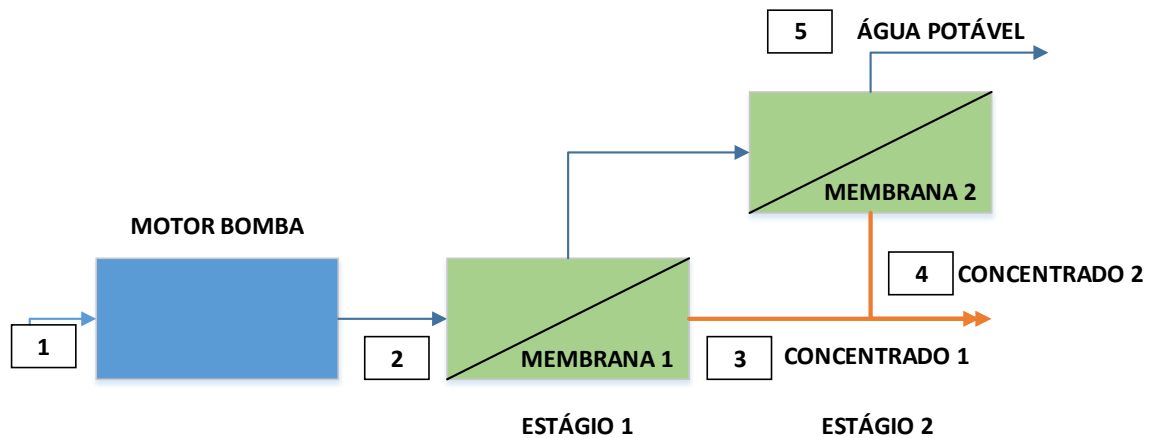
Deste modo, com a apresentação deste resultado, pode-se concluir que a planta de dessalinização tanto em Petrolina como Parnaíba, consegue atender o objetivo principal de produção de água potável com o nível de salinidade apropriado ao consumo humano, atingindo uma salinidade de 377,7 mg/L e CEP de 33,95 R\$/m³ e 32,96 R\$/m³ respectivamente, valores competitivos com os encontrados na literatura.

8.2 Planta de Dessalinização (2 kW)

Nesta secção são apresentados os resultados da simulação de produção da planta de dessalinização de 2 kW para Petrolina e Parnaíba.

Inicialmente foram definidos os parâmetros de entrada, sendo estes bomba Ferrari, com vazão até 720 m³/dia e pressão até 35 mca (50 psi), salinidade da água de 1500 mg/L e membrana ECO PRO-440i. O WAVE apresentou uma configuração para a planta de OR de 2 estágios, caracterizada por 1 vaso de pressão com 1 membrana por estágio, de acordo com o apresentado na Figura 54.

Figura 54 – Configuração da Planta de OR de Petrolina (2 kW)



Fonte: Adaptado de WAVE (2019)

Na tabela 22 são apresentados os resultados da planta de dessalinização com carga de 2 kW, no qual esta apresenta um fluxo de alimentação com 672 m³/dia com salinidade de 1.500 mg/L, que após ser bombeado para a planta adquire uma pressão de 42,64 psi.

O processo de dessalinização da planta de 2 kW é executado em dois estágios, no qual no primeiro estágio o concentrado tem uma vazão de 578,88 m³/dia a uma pressão de 22,53 psi com 1.747 mg/L, e no segundo estágio o concentrado tem uma vazão de 364,32 m³/dia a uma pressão de 12,87 psi com 1860 mg/L, resultando numa produção de permeado a uma vazão de 93,12 m³/dia a uma pressão de 22,53 psi com 163,2 mg/L.

Tabela 22 – Resultados da planta de dessalinização - OR.

#	Descrição	Vazão (m ³ /dia)	STD (mg/L)	Pressão (Psi)
1	Alimentação da planta OR	672	1.500	0,0
2	Pós-bomba	672	1.500	42,64
3	Concentrado 1	578,88	1.747	22,53
4	Concentrado 2	364,32	1.860	12,87
5	Água potável	93,12	163,2	0,1

Fonte: WAVE (2019)

Outros parâmetros da planta de dessalinização descritos no capítulo 6 foram calculados, sendo estes P_f de 27,66 psi, ΔP de 29,77 psi, Y de 13,8 6% e o PRS de 89,1 %. Na tabela 23 são apresentados os resultados de produção da planta de dessalinização de 2 kW de Petrolina e Parnaíba.

Tabela 23 – Comparação de variáveis.

Variáveis	1	Petrolina	Parnaíba
COE (R\$/kWh)	0,64 - 1,57	0,82	0,81
CEE (kWh/m ³)	2 - 12	6,02	6,02
CEP (R\$/m ³)	3,65 - 6,38	5,33	5,27

Fonte: 1-Alkaiasi *et al.* (2017) e WAVE (2019).

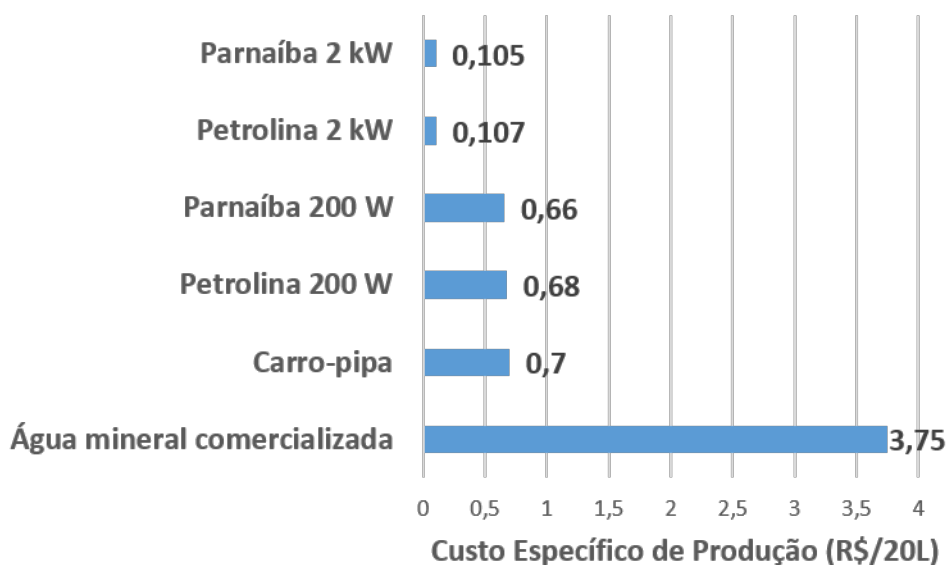
Como Petrolina como Parnaíba, utilizam a mesma planta de dessalinização de 2 kW, com o CEE de 6,02 kWh/m³, o COE influencia no cálculo final do CEP de forma direta.

Deste modo, com a apresentação deste resultado, pode-se concluir que a planta de dessalinização de 2 kW tanto em Petrolina como Parnaíba, consegue atender o objetivo principal de produção de água potável com o nível de salinidade apropriado ao consumo humano, atingindo uma salinidade de 377,7 mg/L e CEP de 5,33 R\$/m³ e 5,27 R\$/m³ respectivamente, valores adequados aos encontrados na literatura.

8.3 Análise dos Resultados

As plantas de dessalinização com cargas de 200 W e 2 kW, atingiram os resultados esperados, sendo o primeiro objetivo fornecer água potável, o que foi alcançado com salinidades de 377,7 e 163,2 mg/L respectivamente. O segundo objetivo é atingir uma produção com preço competitivo ao encontrado na literatura, o que também foi atingido tanto para Petrolina como para Parnaíba, como apresentado na Figura 55.

Figura 55 – Comparativo do preço da água (20L)



Fonte: Adaptado de WAVE (2019)

Como mencionado anteriormente, o COE afeta diretamente o preço final da água produzida, então para as cargas de 200 W e 2 kW, Parnaíba e Petrolina apresentaram preço final da água produzida aproximados para as duas cargas.

Fazendo uma comparação do custo benefício em relação a água mineral comercializada com valores entre R\$ 2,50 e 5,00 (média R\$ 3,75) e água vendida em carro-pipa em galões de 20 L com valores de até R\$ 0,70, os resultados de Petrolina e Parnaíba apresentam um custo de produção de água inferior as mencionadas.

É importante ressaltar que nenhum custo de armazenamento, transporte, engarrafamento, entre outros custos adicionais para a comercialização foram considerados, sendo os valores de Petrolina e Parnaíba simplesmente da produção da água.

9 CONCLUSÕES

Na presente dissertação conclui-se que a partir da metodologia utilizada se atingiu o objetivo de dimensionar um SH EO-FV para acionar uma planta de dessalinização por OR, para uma carga de 200 W e 2 kW para Petrolina e Parnaíba.

Foram identificados padrões nas características meteorológicas Petrolina e Parnaíba, sendo que estas se localizam no interior e litoral, Petrolina apresenta índices de irradiação solar mais acentuados em relação a Parnaíba, mas por outro lado Parnaíba apresenta índices de velocidade do vento com melhores médias.

A planta de dessalinização por OR de 200 W, apresenta uma estrutura de 1 vaso de pressão com 1 membrana, com um consumo de 9,79 kWh/m³ de água potável produzido com 377,7 mg/L. A membrana escolhida foi a Eco-Pro 440i pois demonstra índices de eficiência acima de 90 % para água com salinidade de 1500 mg/L, e para abastecer essa carga, Petrolina apresenta um SH EO-FV, composto por 1 AG de 0,5 kW, 1 módulo FV de 330 W, 1 inversor de 1,2 kW e 2 baterias com capacidade total de 96 Ah e Parnaíba apresenta um SH EO-FV, composto por 1 AG de 0,5 kW, 1 módulo FV de 330 W, 1 inversor de 1,2 kW e 1 baterias de 48 Ah, e apresentam um custo de energia (COE) de R\$ 3,74 e 3,63 respectivamente.

Segundo os parâmetros calculados a planta mencionada atinge um custo específico de produção (CEP) de R\$ 33,95 e 32,96 por m³ para Petrolina e Parnaíba respectivamente, com gradiente de pressão (Pf) de 17,35 psi, perda de carga (ΔP) de 5,1 psi, rendimento (Y) de 13,49% e o Percentual de rejeição de sais (PRS) de 74,8 %.

A planta de dessalinização por OR de 2 kW apresenta dois estágios com uma estrutura de 1 vaso de pressão com 1 membrana por estágio, com um consumo de 6,02 kWh/m³ de água potável com 163,2 mg/L, e para abastecer essa carga Petrolina apresenta um SH EO-FV, composto por 1 AG de 0,5 kW, 13 módulos FV de 330 W (total de 3,96 kW), 1 inversor de 4,6 kW e 26 baterias com capacidade total de 1.248 Ah e Parnaíba apresenta um SH EO-FV, composto por 1 AG de 0,5 kW, 15 módulos FV de 330 W (total de 4,95 kW), 1 inversor de 5 kW e 20 baterias com capacidade total de 9.600 Ah, e apresentam um COE de R\$ 0,82 e 0,81 respectivamente.

A partir dos cálculos apresentados a planta de 2 kW atinge um Custo específico de produção (CEP) de R\$ 5,33 e 5,27 por m³ para Petrolina e Parnaíba respectivamente, com parâmetros de P_f de 27,66 psi, ΔP de 29,77 psi, Y de 13,86 % e o PRS de 89,1 %.

Os SHs dimensionados para Petrolina e Parnaíba demonstraram conseguir suprir a

carga da planta de dessalinização por OR por completo. Entre as duas plantas de dessalinização, a planta de 2 kW apresentou melhor desempenho, o que se deve a esta possuir uma motobomba com vazão e pressão inicial maior (672 m³/dia e 42,64 psi), permitindo assim uma configuração de 2 estágios que demonstrou melhor rendimento e salinidade na água potável, como mencionado anteriormente.

Parnaíba apresentou a planta com melhor custo benefício apresentado em Parnaíba, planta de 2 kW, atinge custo de R\$ 0,105/20L, importante ressaltar que não estão incorporados custos de transporte, armazenamento, engarrafamento e etc

Conclui-se que a metodologia aplicada é válida para os dois tipos de carga, e que o preço final da água potável produzida está diretamente ligado ao COE apresentado no SHs dimensionados, para as cargas de 200 W e 2 kW, sendo para ambos os casos os valores tanto para Petrolina como Parnaíba os resultados demonstraram que são coerentes com os resultados encontrados na literatura.

Por fim a presente dissertação é uma referência útil para o estudo de SH EO-FV com aplicação em plantas de dessalinização por OR. Vale ressaltar que os resultados obtidos neste estudo são válidos para o estudo de caso considerado (Petrolina), uma vez que os resultados de SH de ER são diretamente afetados por condições locais (irradiação solar, temperatura e velocidade do vento) e o características dos componentes utilizados no sistema.

9.1 Sugestões de Trabalhos Futuros

- Dimensionamento de um sistema híbrido para acionar uma planta de dessalinização para água do mar.
- Estudo para desenvolver um sistema híbrido com integração de outras tecnologias como a biomassa e biogás.
- Desenvolvimento de um algoritmo genético para descobrir o dimensionamento ótimo para o sistema híbrido.

9.2 Lista de trabalhos aceites ou publicados

- RIBEIRO, S. B. J.; BATISTA, N. E.; CARVALHO; P. C. M.; OTIMIZAÇÃO DE UMA INSTALAÇÃO DE OSMOSE REVERSA ACIONADA POR UMA PLANTA HÍBRIDA EÓLICA - FOTOVOLTAICA. In: **Congresso Brasileiro de Geração Distribuída – CBGD**, Refice, 2019.
- RIBEIRO, S. B. J.; MATOS, B. D. A.; CARVALHO; P. C. M.; ANÁLISE DOS RECURSOS ENERGÉTICOS E SUA COMPLEMENTARIDADE NA VIABILIDADE DE SISTEMAS DE GERAÇÃO HÍBRIDOS SOLAR - EÓLICO. In: **Congresso Brasileiro de Geração Distribuída – CBGD**, Refice, 2019.

REFERÊNCIAS

- ABAS. **Águas subterrânea minização das secas no Nordeste**. 2003. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Disponível em: <https://www.abas.org/imagens/publicacoes/estudos_sedezero.PDF>. Acesso em: 30 jun. 2019.
- ABEOLICA. **Boletim Anual De Geração Eólica**. 2018. Associação Brasileira De Energia Eólica. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Boletim-Anual_2018.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2019.
- ABSOLAR. **Energia Solar Fotovoltáica no Brasil**. 2019. Associação Brasileira de Energia Solar. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/infografico-absolar-.html>>. Acesso em: 30 jun. 2019.
- ALKAISI, A.; MOSSAD, R.; SHARIFIAN-BARFOROUSH, A. A review of the water desalination systems integrated with renewable energy. **Energy Procedia**, Elsevier, v. 110, p. 268–274, 2017.
- ARRUDA, M. F. **Desempenho técnico-financeiro de sistema híbrido eólico solar aplicado ao bombeamento de água** 2015 . Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.
- BAHRAMARA, S.; MOGHADDAM, M. P.; HAGHIFAM, M. Optimal planning of hybrid renewable energy systems using homer: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 62, p. 609–620, 2016.
- BALBUENA, M. J. C. **Dimensionamiento, modelado y control de los componentes de un sistema híbrido de generación eléctrica basado en energías renovables e hidrógeno**. 2013. 195 f. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial) — Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial: Engenharia Industrial, Universidade de Cadiz, Algeciras, 2013.
- BEHZADI, M. S.; NIASATI, M. Comparative performance analysis of a hybrid pv/fc/battery stand-alone system using different power management strategies and sizing approaches. **International journal of hydrogen energy**, Elsevier, v. 40, n. 1, p. 538–548, 2015.
- BELMILI, H.; HADDADI, M.; BACHA, S.; ALMI, M. F.; BENDIB, B. Sizing stand-alone photovoltaic–wind hybrid system: Techno-economic analysis and optimization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 30, p. 821–832, 2014.
- BLASQUES, L. C. M. *et al.* **Otimização de sistemas híbridos para a eletrificação de minirredes com fontes renováveis: aspectos de projeto, operação e gestão**. Universidade Federal do Pará, 2014.
- BORGES-NETO, M.; CARVALHO, P.; CARIOCA, J.; CANAFISTULA, F. Biogas/photovoltaic hybrid power system for decentralized energy supply of rural areas. **Energy Policy**, Elsevier, v. 38, n. 8, p. 4497–4506, 2010.
- BORGES-NETO, M. R. **Geração de energia elétrica: fundamentos**. São Paulo: Saraiva Educação SA, 2012.

BURN, S.; HOANG, M.; ZARZO, D.; OLEWNIK, F.; CAMPOS, E.; BOLTO, B.; BARRON, O. Desalination techniques—a review of the opportunities for desalination in agriculture. **Desalination**, Elsevier, v. 364, p. 2–16, 2015.

CARNEIRO, T. C.; MELO, S. P.; CARVALHO, P. C.; BRAGA, A. P. d. S. Particle swarm optimization method for estimation of weibull parameters: A case study for the brazilian northeast region. **Renewable energy**, Elsevier, v. 86, p. 751–759, 2016.

CARROQUINO, J.; DUFO-LÓPEZ, R.; BERNAL-AGUSTÍN, J. L. Sizing of off-grid renewable energy systems for drip irrigation in mediterranean crops. **Renewable energy**, Elsevier, v. 76, p. 566–574, 2015.

CARVALHO, P. C.; CARVALHO, L. A.; FILHO, J. J. H.; OLIVEIRA, R. S. Feasibility study of photovoltaic powered reverse osmosis and pumping plant configurations. **IET Renewable Power Generation**, IET, v. 7, n. 2, p. 134–143, 2013.

CAVALCANTE, R. L.; JÚNIOR, W. B.; MAIA, K. C.; GALHARDO, M.; PINHO, J. T.; MACÊDO, W. N.; MODESTO, J. F.; PENHA, J. de A.; GOMES, C. Implementação de um sistema de monitoração em um sistema híbrido solar-eólico instalado no flutuante base do instituto de desenvolvimento sustentável mamirauá. **Tecnology**, v. 3, p. I3, 2014.

CHAICHAN, M. T.; KAZEM, H. A.; MAHDY, A. M.; AL-WAEELY, A. A. Optimal sizing of a hybrid system of renewable energy for lighting street in salalah-oman using homer software. **International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS)**, v. 2, n. 5, p. 157–164, 2016.

COSTA, D. A. C. Graduação em Engenharia Elétrica, **Estimativa do potencial de geração fotovoltaica do campus do Pici da UFC** 2018. Fortaleza: [s.n.], 2018. Fator de capacidade Fortaleza. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/34824>>. Acesso em: 30 jan. 2020.

COTRUVO, J. A. 2017 who guidelines for drinking water quality: First addendum to the fourth edition. **Journal-American Water Works Association**, Wiley Online Library, v. 109, n. 7, p. 44–51, 2017.

ELETROVENTO. **Modelo ELV-H2.7 – 500 W**. 2018. ELETROVENTO. Disponível em: <<http://www.eletrovento.com.br/produto/categoria/energia-eolica>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

EPE. **Balanco Energético Nacional**: Brasil. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2018.

EYVAZ, M.; YÜKSEL, E. **Desalination and Water Treatment**. [S.l.]: BoD–Books on Demand, 2018.

FILMTEC, D. **Product Specification Sheet/Model Eco Pro 440i**. 2018. DOW FILMTEC. Disponível em: <<https://www.lenntech.com/Data-sheets/Dow-Filmtec-Eco-Pro-440i-L.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

GHIASI, M. Detailed study, multi-objective optimization, and design of an ac-dc smart microgrid with hybrid renewable energy resources. **Energy**, Elsevier, v. 169, p. 496–507, 2019.

GREENER. **Estudo estratégico: mercado fotovoltaico de geração distribuída - 3 trimestre de 2019**. 2019. Greener. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/pesquisas-de-mercado/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-de-geracao-distribuida-3o-trimestre-de-2019/>>. Acesso em: 30 nov. 2019.

GREENLEE, L. F.; LAWLER, D. F.; FREEMAN, B. D.; MARROT, B.; MOULIN, P. Reverse osmosis desalination: water sources, technology, and today's challenges. **Water research**, Elsevier, v. 43, n. 9, p. 2317–2348, 2009.

HART, D. W. **Power electronics**. Brasília: Tata McGraw-Hill Education, 2011.

HE, W.; WANG, Y.; SHAHEED, M. H. Stand-alone seawater ro (reverse osmosis) desalination powered by pv (photovoltaic) and pro (pressure retarded osmosis). **Energy**, Elsevier, v. 86, p. 423–435, 2015.

HENTHORNE, L.; BOYSEN, B. State-of-the-art of reverse osmosis desalination pretreatment. **Desalination**, Elsevier, v. 356, p. 129–139, 2015.

HOMER. **Training Guide for Renewable Energy**. 2019. Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources. Disponível em: <<https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

KARAGIANNIS, I. C.; SOLDATOS, P. G. Water desalination cost literature: review and assessment. **Desalination**, Elsevier, v. 223, n. 1-3, p. 448–456, 2008.

KAVIANI, A. K.; RIAHY, G.; KOUHSARI, S. M. Optimal design of a reliable hydrogen-based stand-alone wind/pv generating system, considering component outages. **Renewable energy**, Elsevier, v. 34, n. 11, p. 2380–2390, 2009.

KHAN, F. A.; PAL, N.; SAEED, S. H. Review of solar photovoltaic and wind hybrid energy systems for sizing strategies optimization techniques and cost analysis methodologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 92, p. 937–947, 2018.

KHARE, V.; NEMA, S.; BARENDAR, P. Solar–wind hybrid renewable energy system: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 58, p. 23–33, 2016.

LEE, K.-J.; SHIN, D.; YOO, D.-W.; CHOI, H.-K.; KIM, H.-J. Hybrid photovoltaic/diesel green ship operating in standalone and grid-connected mode—experimental investigation. **Energy**, Elsevier, v. 49, p. 475–483, 2013.

LI, Q.; LOY-BENITEZ, J.; NAM, K.; HWANGBO, S.; RASHIDI, J.; YOO, C. Sustainable and reliable design of reverse osmosis desalination with hybrid renewable energy systems through supply chain forecasting using recurrent neural networks. **Energy**, Elsevier, v. 178, p. 277–292, 2019.

MA, T.; YANG, H.; LU, L. A feasibility study of a stand-alone hybrid solar–wind–battery system for a remote island. **Applied Energy**, Elsevier, v. 121, p. 149–158, 2014.

MALEKI, A.; AMERI, M.; KEYNIA, F. Scrutiny of multifarious particle swarm optimization for finding the optimal size of a pv/wind/battery hybrid system. **Renewable Energy**, Elsevier, v. 80, p. 552–563, 2015.

MALEKI, A.; POURFAYAZ, F. Sizing of stand-alone photovoltaic/wind/diesel system with battery and fuel cell storage devices by harmony search algorithm. **Journal of Energy Storage**, Elsevier, v. 2, p. 30–42, 2015.

MENDONÇA, D. E.; CARVALHO, P. C. M. de; PRAÇA, P. P.; PINHEIRO, J. S. Photovoltaic powered reverse osmosis plant for brackish water without batteries with self acting pressure valve and mppt. **Journal of Energy and Power Engineering**, v. 11, p. 187–194, 2017.

MÉZIANE, F.; KHELLAF, A.; CHELLALI, F. Study and dimensioning of a wind-electrolyzer-fuel cell system for the power supply of an isolated site. **Rev des Energies Renouvelables**, p. 381–391, 2012.

MILLER, S.; SHEMER, H.; SEMIAT, R. Energy and environmental issues in desalination. **Desalination**, Elsevier, v. 366, p. 2–8, 2015.

MOURA. **Acumuladores Catálogo**. 2001. BATERIAS MOURA. Disponível em: <<https://www.moura.com.br>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

NOGUEIRA, C. E. C.; VIDOTTO, M. L.; NIEDZIALKOSKI, R. K.; SOUZA, S. N. M. de; CHAVES, L. I.; EDWIGES, T.; SANTOS, D. B. dos; WERNCKE, I. Sizing and simulation of a photovoltaic-wind energy system using batteries, applied for a small rural property located in the south of Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 29, p. 151–157, 2014.

NOVOSEL, T.; ČOSIĆ, B.; KRAJAČIĆ, G.; DUIĆ, N.; PUKŠEC, T.; MOHSEN, M. S.; ASHHAB, M.; ABABNEH, A. K. The influence of reverse osmosis desalination in a combination with pump storage on the penetration of wind and pv energy: A case study for Jordan. **Energy**, Elsevier, v. 76, p. 73–81, 2014.

OLIVEIRA, R. S. H. **Planta laboratorial de dessalinização via osmose reversa alimentada por energia solar fotovoltaica com ou sem baterias** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

ONS. **Boletins de Operação**. 2019. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/boletins-da-operacao>>. Acesso em: 30 set. 2019.

PEREIRA, E.; MARTINS, F.; COSTA, R.; GONÇALVES, A.; LIMA, F.; RÜTHER, R.; ABREU, S.; TIEPOLO, G.; PEREIRA, S.; SOUZA, J. **Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª Edição**. [S.l.: s.n.], 2017. ISBN 978-85-17-00089-8.

PHUC, B. D. H.; YOU, S.-S.; LIM, T.-W.; KIM, H.-S. Dynamical analysis and control synthesis of ro desalination process against water hammering. **Desalination**, Elsevier, v. 402, p. 133–142, 2017.

PINHO, J. T.; BARBOSA, C. F.; PEREIRA, E. J.; SOUZA, H. M.; BLASQUES, L. C.; GALHARDO, M. A.; A, W. N. M. **Sistemas Híbridos: Soluções energéticas para a Amazônia**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.

PRIETO-PRADO, I.; RÍO-GAMERO, B. D.; GÓMEZ-GOTOR, A.; PÉREZ-BÁEZ, S. Water and energy self-supply in isolated areas through renewable energies using hydrogen and water as a double storage system. **Desalination**, Elsevier, v. 430, p. 1–14, 2018.

QASIM, M.; BADRELZAMAN, M.; DARWISH, N. N.; DARWISH, N. A.; HILAL, N. Reverse osmosis desalination: A state-of-the-art review. **Desalination**, Elsevier, v. 459, p. 59–104, 2019.

REHMAN, S.; ALAM, M. M.; MEYER, J. P.; AL-HADHRAMI, L. M. Feasibility study of a wind–pv–diesel hybrid power system for a village. **Renewable energy**, Elsevier, v. 38, n. 1, p. 258–268, 2012.

REKIOUA, D.; MATAGNE, E. **Optimization of photovoltaic power systems: modelization, simulation and control**. São Paulo: Springer Science & Business Media, 2012.

ROHANI, A.; MAZLUMI, K.; KORD, H. Modeling of a hybrid power system for economic analysis and environmental impact in homer. **International journal of Electrical Engineering**, IEEE, p. 819–823, 2010.

SCHAEFFER, R. **Revolução Energética: Cenário brasileiro 2016**. São Paulo: Greenpeace, 2016.

SEN, R.; BHATTACHARYYA, S. C. Off-grid electricity generation with renewable energy technologies in india: An application of homer. **Renewable Energy**, Elsevier, v. 62, p. 388–398, 2014.

SHURFLO. **Catálogo Técnico - Bombas de Diafragma, SHURFLO**. 2015. Bombas de Diafragma, SHURFLO. Disponível em: <http://www.sunlab.com.br/Bombas_Sunlab_Shurflo.htm>. Acesso em: 30 jun. 2019.

SILVA, S.; SEVERINO, M.; OLIVEIRA, M. D. A stand-alone hybrid photovoltaic, fuel cell and battery system: A case study of tocantins, brazil. **Renewable energy**, Elsevier, v. 57, p. 384–389, 2013.

SILVA, S. B. **Dimensionamento ótimo de sistemas híbridos, com geração fotovoltaica e célula a combustível, para atendimento a comunidades isoladas na Amazônia**. 2010. 153 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) — Faculdade de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica: Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

SINGH, A.; BARENDAR, P.; GUPTA, B. Computational simulation & optimization of a solar, fuel cell and biomass hybrid energy system using homer pro software. **Procedia Engineering**, Elsevier, v. 127, p. 743–750, 2015.

SINHA, S.; CHANDEL, S. Review of software tools for hybrid renewable energy systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 32, p. 192–205, 2014.

SOUZA-FILHO, A. J. T. *et al.* **Análise da Viabilidade de Sistema Híbrido Biogás-Solar na Geração de Energia e seus Impactos nas Emissões de Gases**. Instituto Federal Goiano, 2019.

TAHRI, T.; BETTAHAR, A.; DOUANI, M. Optimization of a hybrid wind-pv-diesel standalone system: Case chlef, algeria. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 73, 2013.

TEZER, T.; YAMAN, R.; YAMAN, G. Evaluation of approaches used for optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 73, p. 840–853, 2017.

WAVE. **Software for Water Treatment Plant Design**. 2019. Water Application Value Engine. Disponível em: <<https://www.dupont.com/water/resources/design-software.html>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

WHO. **World Health Organisation: Guidelines for Drinking-water Quality**. World Health Organisation, 2017. Disponível em: <https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/drinking-water-quality-guidelines-4-including-1st-addendum/en/>. Acesso em: 30 jun. 2019.

YAZICI, M. S.; YAVASOGLU, H. A.; EROGLU, M. A mobile off-grid platform powered with photovoltaic/wind/battery/fuel cell hybrid power systems. **International journal of hydrogen energy**, Elsevier, v. 38, n. 26, p. 11639–11645, 2013.

ZANONI, N. **Análise da viabilidade da implantação de um sistema híbrido para geração de energia elétrica** 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências Ambientais) — Universidade de Caxias do Sul, Fortaleza, 2018.

ZHANG, Y.; CAMPANA, P. E.; LUNDBLAD, A.; YAN, J. Comparative study of hydrogen storage and battery storage in grid connected photovoltaic system: Storage sizing and rule-based operation. **Applied energy**, Elsevier, v. 201, p. 397–411, 2017.

ZHOU, W.; LOU, C.; LI, Z.; LU, L.; YANG, H. Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar–wind power generation systems. **Applied energy**, Elsevier, v. 87, n. 2, p. 380–389, 2010.

ANEXO A – EQUIPAMENTOS USADOS NO PROJETO

Bateria Estacionária Moura Nobreak 12MN80

Produzida sob rigoroso padrão internacional de qualidade de processo e com plataforma tecnológica de classe mundial, a bateria estacionária Moura para aplicações estacionárias é a bateria ideal para equipamentos que demandem alta segurança, confiabilidade e autonomia.



CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS POR MODELO

MODELO	CAPACIDADE NOMINAL (Ah)				PESO (Kg)	DIMENSÕES (mm)	RESISTÊNCIA INTERNA (mΩ)	CORRENTE RECARGA MÁXIMA (A)
	C20	C10	C5	C1				
12MN36	36	33	27	20,8	11,4	212x175x175	7,1	7,2
12MN45	45	41	37	27,8	11,8	212x175x175	6,9	9
12MN55	55	50	44,2	33,7	14,1	242x175x175	6,2	11
12MN63	63	57	52,6	40,2	16,1	282x175x175	5	12,6
12MN80	80	72	60,3	45,6	21,6	306x172x203	4,9	16
12MN105	105	95	87,2	61,4	25,4	330x172x220	4,9	21
12MN150	150	135	115,3	79,1	39	509x211x219	3,1	30
12MN175	175	160	136,5	104,2	50,6	517x272x217	2,5	35
12MN220	220	200	179,4	131	56	517x272x217	2,5	44

ANEXO B – SISTEMA AEROGERADOR ELV-H2.7 - 500 W - OFF-GRID

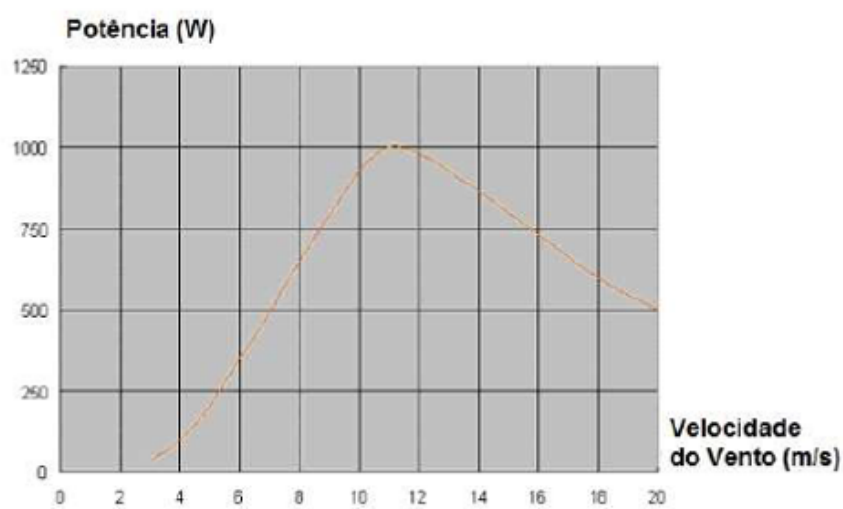
B.1 ESPECIFICAÇÃO DO PRODUTO

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Potência Nominal (W)	Potência Máxima (W)	Diâmetro das Pás (m)	Banco de Baterias (V)	Rotação das Pás (rpm)	Vento de Partida (m/s)	Altura da Torre (m)	Peso do Sistema (Kg)	Geração* (kWh/mês)
500	1.000	2,5	24	600	3	6	30,35	75

* Considerando vento médio anual de 6 m/s (22 Km/h)

2.2 – CURVA DE POTÊNCIA





MAXPOWER CS6U-315 | 320 | 325 | 330P

A alta qualidade e confiabilidade dos módulos Canadian Solar está assegurada com sua experiência de 15 anos no mercado, oferecendo módulos bem projetados, com um rigoroso control de qualidade dos materiais e um sistema de fabricação automatizado, além de serem 100% testados no método EL.

25
anos

de garantia de potência de saída linear

10
anos

de garantia do produto em materiais e mão de obra

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS



Excelente eficiência do módulo de até 16.97 %



Excepcional desempenho em baixa irradiação: 96 %



Alto desempenho em condições PTC de até 92.15 %



Caixa de Junção IP67, resistência de longo prazo ao clima



Carga de neve até 5400 Pa e carga de vento até 2400 Pa

CERTIFICADOS DO SISTEMA DE GESTÃO*

ISO 9001:2008 / Sistema de gestão de qualidade

ISO 14001:2004 / Sistemas de gestão ambiental

OHSAS 18001:2007 / Norma Internacional para segurança e saúde ocupacional

CERTIFICADOS DO PRODUTO*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / CQC / MCS / INMETRO / CEC AU

UL 1703 / IEC 61215 desempenho: listado na CEC (US) / FSEC (US Florida)

UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE

Take-e-way / UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1

IEC 60068-2-68: SGS



* As exigências de certificação são diferentes em cada mercado, portanto solicite ao seu representante de vendas local da Canadian Solar os certificados válidos para os produtos na região em que eles serão usados.

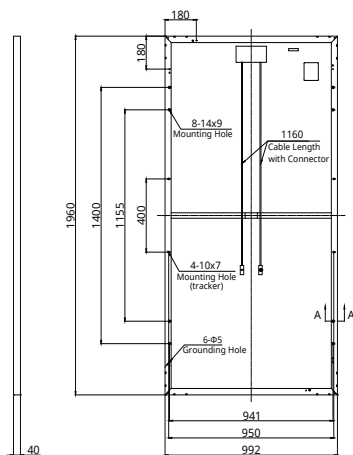
CANADIAN SOLAR INC. está comprometida a fornecer produtos solares, soluções de sistemas solares e serviços de alta qualidade para clientes em todo mundo. Fabricante líder de módulos solares e desenvolvedora de projetos fotovoltaicos, com mais de 20 GW em módulos da mais alta qualidade instalados em todo o mundo desde 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) é uma das empresas de energia solar mais lucrativas do mundo.

CANADIAN SOLAR (BRASIL) INC.

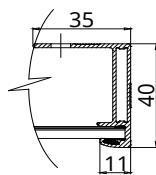
Av. Nações Unidas 11857, 14º andar CEP 04578-908, São Paulo, Brasil | www.canadiansolar.com | sales.br@canadiansolar.com

MÓDULO / DESENHOS DE ENGENHARIA (mm)

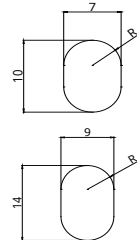
Vista Traseira



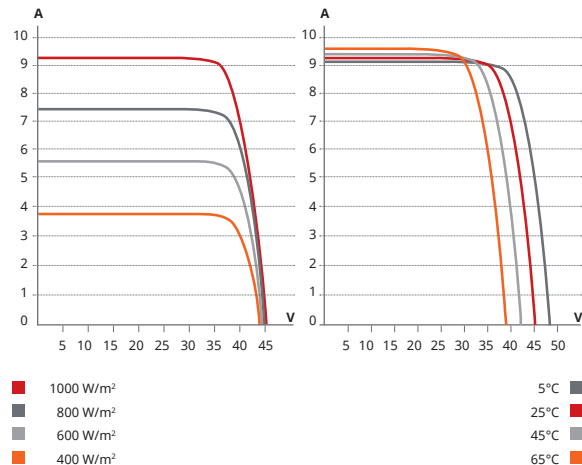
Seção marco A-A



Furo de montagem



CS6U-320P / CURVAS I-V



DADOS ELÉTRICOS | STC*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Potência nominal máx. (Pmax)	315 W	320 W	325 W	330 W
Tensão operacional opt. (Vmp)	36.6 V	36.8 V	37.0 V	37.2 V
Corrente operacional opt. (Imp)	8.61 A	8.69 A	8.78 A	8.88 A
Tensão circuito aberto (Voc)	45.1 V	45.3 V	45.5 V	45.6 V
Corrente curto-circuito (Isc)	9.18 A	9.26 A	9.34 A	9.45 A
Eficiência do módulo	16.20%	16.46%	16.72%	16.97%
Temperatura operacional	-40°C ~ +85°C			
Tensão do sistema máx.	1000 V (IEC) ou 1000 V (UL)			
Proteção contra incêndio	TIPO 1 (UL 1703) ou CLASSE C (IEC 61730)			
Class. máx. fusíveis em série	15 A			
Classificação da aplicação	Classe A			
Tolerância de potência	0 ~ + 5 W			

* Sob Condições de Teste Padrão (STC) de irradiação de 1000 W/m², espectro AM de 1.5 e temperatura de célula de 25°C.

DADOS ELÉTRICOS | NOCT*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Potência nominal máx. (Pmax)	231 W	235 W	239 W	242 W
Tensão operacional opt. (Vmp)	33.7 V	33.9 V	34.0 V	34.2 V
Corrente operacional opt. (Imp)	6.87 A	6.94 A	7.01 A	7.08 A
Tensão circuito aberto (Voc)	42.0 V	42.2 V	42.4 V	42.5 V
Corrente curto-circuito (Isc)	7.41 A	7.48 A	7.54 A	7.63 A

* Sob Temperatura Operacional Nominal Célula (NOCT), irradiação de 800 W/m², espectro AM 1.5, temperatura ambiente de 20°C, velocidade do vento 1 m/s.

DESEMPENHO A BAIXA IRRADIAÇÃO

Desempenho excepcional em ambientes de baixa irradiação, média de eficiência relativa de 96.0 % a partir de uma irradiação de 1000 W/m² a 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

A especificação e os principais recursos descritos nesta ficha técnica podem ser um pouco diferentes e não estão garantidos. Devido à contínua inovação, pesquisa e melhoria de produtos, a Canadian Solar Inc. reserva-se o direito de fazer modificações nas informações descritas neste documento a qualquer momento e sem aviso prévio. Sempre adquira a versão mais recente da ficha técnica, que deve ser devidamente incorporada ao contrato legal firmado pelas partes regulamentando todas as transações relativas à compra e venda dos produtos aqui descritos.

Atenção: Apenas para uso profissional. A instalação e manuseio de módulos fotovoltaicos requerem habilidades profissionais. Apenas profissionais qualificados devem realizá-las. Leia as instruções de segurança e instalação antes de usar os módulos.

DADOS MECÂNICOS

Especificação	Dados
Tipo célula	Policristalina, 6 polegadas
Configuração cél.	72 (6×12)
Dimensões	1960×992×40 mm (77.2×39.1×1.57 in)
Peso	22.4 kg (49.4 lbs)
Vidro dianteiro	Vidro temperado de 3.2 mm
Material do marco	Alumínio anodizado
J-Box	IP67, 3 diodos
Cabo	4 mm ² (IEC) ou 4 mm ² & 12 AWG 1000V (UL), 1160 mm (45.7 in)
Conectores	T4 series ou PV2 series
Por Pallet	26 peças, 635 kg (1400 lbs)
Por Container (40' HQ)	624 peças

CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

Especificações	Dados
Coefficiente de temperatura (Pmax)	-0.41 % / °C
Coefficiente de temperatura (Voc)	-0.31 % / °C
Coefficiente de temperatura (Isc)	0.053 % / °C
Temp. operacional nominal da célula	43±2 °C

SEÇÃO DO PARCEIRO



INVERSORES SOLARES

Inversores de linha ABB

UNO-DM-3.3/4.0/4.6/5.0-TL-PLUS

3,3 a 5,0 kW



A nova família de inversores monofásicos UNO-DM-PLUS, com potências de 3,3 a 5,0 kW, é a solução ideal para instalações residenciais.

01

01 UNO-DM-3.3/4.0/4.6/5.0-TL-PLUS inverter em série para ambientes externos

Um tamanho para todas as aplicações
O novo design envolve a qualidade e a engenharia da ABB em um pacote leve e compacto graças a opções tecnológicas otimizadas para instalações com diferentes orientações.

Todos os dimensionamentos de potência compartilham o mesmo volume geral, permitindo maior desempenho em um espaço mínimo e possuem um Rastreador de Ponto de Potência Máximo duplo (2 MPPT).

Fácil de instalar, rápido de montar
A presença de conectores *Plug and Play*, tanto no lado CC como no lado CA, bem como a comunicação sem fio, permitem uma instalação simples, rápida e segura sem a necessidade de abrir a tampa frontal do inversor.

A rotina de montagem fácil destacada elimina a necessidade de um longo processo de configuração, resultando em menor tempo e custos de instalação. Experiência do usuário melhorada graças a uma interface de usuário (UI), que permite acesso a recursos como configurações avançadas de inversor, controle dinâmico de feeds e gerenciador de carga de qualquer dispositivo habilitado para WLAN (smartphone, tablet ou PC).

Capacidades inteligentes
Os recursos de registro embutidos e direta transferência dos dados para Internet (via Ethernet ou WLAN) permitem que os clientes a desfrutar de toda a experiência de monitoramento remoto Aurora Vision®.

As interfaces de comunicação avançadas (WLAN, Ethernet, RS485) combinadas com um protocolo de comunicação eficiente Modbus (RTU/TCP), compatível com Sunspec, permitem que o inversor seja facilmente integrado em qualquer ambiente inteligente e com sistemas de monitoramento e controle de terceiros. Um conjunto completo de funções de controle com o algoritmo eficiente integrado, permitindo o controle dinâmico da alimentação (ou seja, injeção zero), torna o inversor adequado para aplicações em todo o mundo, em conformidade com as normas e necessidades regulatórias dos serviços de energia; O design flexível e pronto para o futuro permite a integração com dispositivos atuais e futuros para automação inteligente de edifícios.

Destaques

- Acesso sem fio à interface do usuário da Web integrado
- Fácil capacidade de montagem e configuração
- Preparado para o futuro com conectividade integrada para construção inteligente e integração de redes inteligentes
- Controle dinâmico de alimentação (por exemplo, "injeção zero")
- Atualização de firmware Over-The-Air (OTA) remota para inversor e componentes
- Compatível com Modbus TCP/RTU Sunspec
- Monitoramento remoto na nuvem Aurora Vision®
- Seção de entrada dupla com MPPT independente

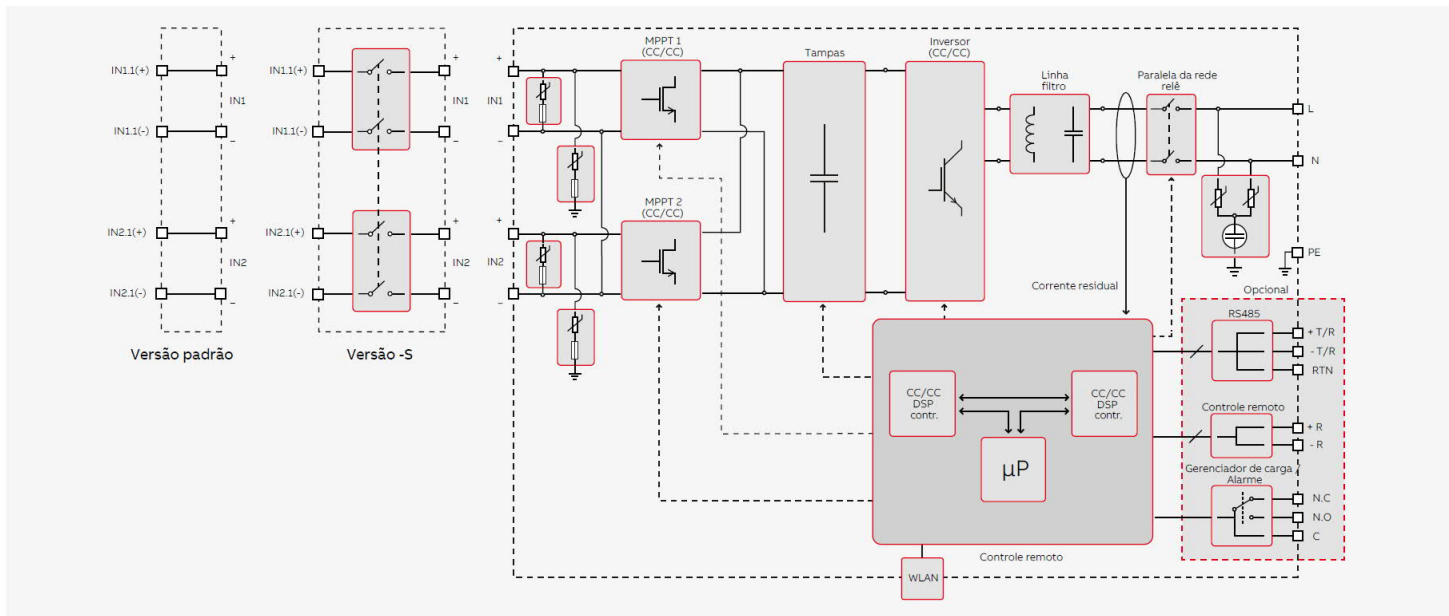
Inversores de linha ABB

UNO-DM-3.3/4.0/4.6/5.0-TL-PLUS

3,3 a 5,0 kW

Dados técnicos e tipos

Código do tipo de equipamento	UNO-DM-3.3-TL-PLUS	UNO-DM-4.0-TL-PLUS	UNO-DM-4.6-TL-PLUS	UNO-DM-5.0-TL-PLUS
Entrada lateral				
Tensão absoluta máxima de entrada CC (V _{max, abs})	600 V			
Tensão de entrada CC (V _{start})	200 V (adj. 120...350 V)			
Intervalo de tensão de entrada CC operacional (V _{ccmin} ...V _{ccmax})	0,7 x V _{start} ...580 V (min 90 V)			
Tensão nominal de entrada CC (V _{ccr})	360 V			
Potência nominal de entrada CC (P _{ccr})	3500 W	4250 W	4750 W	5150 W
Número de MPPTs independentes	2			
Potência máxima de entrada CC para cada MPPT (P _{MPPTmax})	2000 W	3000 W	3000 W	3500 W
Faixa de tensão de entrada CC com configuração paralela de MPPT em P _{ccr}	170...530 V	130...530 V	150...530 V	145...530 V
Limitação de energia CC com configuração paralela do MPPT	Desclassificação linear de máx a nula [530V ≤ V _{MPPT} ≤ 580V]			
Limite de potência CC para cada MPPT com configuração independente de MPPT em P _{ccr} , exemplo de desequilíbrio máximo	2000 W [200 V ≤ V _{MPPT} ≤ 530 V] o outro canal: P _{ccr} -2000 W [112 V ≤ V _{MPPT} ≤ 530 V]	3000 W [190 V ≤ V _{MPPT} ≤ 530 V] o outro canal: P _{ccr} -3000 W [90 V ≤ V _{MPPT} ≤ 530 V]	3000 W [190 V ≤ V _{MPPT} ≤ 530 V] o outro canal: P _{ccr} -3000 W [90 V ≤ V _{MPPT} ≤ 530 V]	3500 W [200 V ≤ V _{MPPT} ≤ 530 V] o outro canal: P _{ccr} -3500 W [90 V ≤ V _{MPPT} ≤ 530 V]
Corrente máxima de entrada CC (I _{ccmax})/para cada MPPT (I _{MPPTmax})	20,0/10,0	32,0/16,0 A	32,0/16,0 A	38,0/19,0 A
Corrente máxima de curto-circuito na entrada para cada MPPT	12,5/25,0 A	20,0/40,0 A	20,0/40,0 A	22,0/44,0 A
Número de pares de entrada CC para cada MPPT	1			
Tipo de conexão CC 1)	Conector FV de Ajuste Rápido			
Proteção de entrada				
Proteção contra polaridade reversa	Sim, da fonte atual limitada			
Proteção contra sobretensão de entrada para cada MPPT - varistor	Sim			
Controle de isolamento de matriz fotovoltaica	De acordo com o padrão local			
Classificação do comutador CC para cada MPPT (versão com comutador CC)	25 A/600 V			
Saída lateral				
Tipo de conexão de rede CC	Fase única			
Potência CA nominal (P _{ccr @ cosφ = 1})	3300 W	4000 W	4600 W	5000 W
Potência máxima de saída CA (P _{ccmax @ cosφ = 1})	3300 W	4000 W 2)	4600 W	5000 W
Potência aparente máxima (S _{max})	3300 VA	4000 VA 2)	4600 VA	5000 VA
Tensão da rede CA nominal (V _{ca, r})	230 V			
Faixa de tensão CA	180...264 V			
Corrente máxima de saída CA (I _{ca, max})	14,5 A	17,2 A	20,0 A	22,0 A
Corrente de falha contributiva	16,0 A	19,0 A	22,0 A	24,0 A
Frequência nominal de saída (f _r) 3)	50/60 Hz			
Faixa de frequência de saída (f _{min} ...f _{max}) 3)	47...53/57...63 Hz			
Fator de potência nominal e faixa ajustável	> 0,995, adj. ± 0,1 - 1 (sobre/subexcitado)			
Distorção harmônica de corrente total	< 3,5			
Tipo de conexão CA	Conector fêmea do painel			
Proteção de saída				
Proteção anti-ilhamento	De acordo com o padrão local			
Proteção máxima de sobrecorrente externa CA	20,0 A	25,0 A	25,0 A	32,0 A
Proteção contra sobretensão de saída - varistor	2 (L - N/L - PE)			



Dados técnicos e tipos

Código do tipo de equipamento	UNO-DM-3.3-TL-PLUS	UNO-DM-4.0-TL-PLUS	UNO-DM-4.6-TL-PLUS	UNO-DM-5.0-TL-PLUS
Desempenho operacional				
Máxima eficiência (çmax)	97,0%	97,0%	97,0%	97,4%
Eficiência ponderada (EURO/CEC)	96,5%/-	96,5%/-	96,5%/-	97,0%/-
Alimentação no limite de energia	8 W			
Consumo noturno	<0,4 W			
Comunicação integrada	Sem fio			
Interface de comunicação integrada 5)	ModBus TCP (SunSpec)			
Protocolo de comunicação integrado	Interface de usuário da web, monitor, Aurora Manager Lite			
Ferramenta de comissionamento	Gerenciador de Portfólio de Planta, Visualizador de Planta, Visualizador de Planta para Celular			
Planta de Monitoramento	Gerenciador de Portfólio de Planta, Visualizador de Planta, Visualizador de Planta para Celular			
Kit de placa opcional UNO-DM-COM	RS485 (use com o medidor para controle dinâmico de alimentação), relé do gerenciador de alarme/carga, controle remoto LIGA/DESLIGA			
Interface de comunicação opcional	ModBus RTU (SunSpec), Protocolo Aurora			
Protocolo de comunicação opcional	Ethernet, RS485 (use com o medidor para controle dinâmico de alimentação), relé do gerenciador de alarme/carga, controle remoto LIGA/DESLIGA			
Kit de placa opcional COM Ethernet UNO-DM-PLUS	Modbus TCP (SunSpec), ModBus RTU (SunSpec), Protocolo Aurora			
Interface de comunicação opcional	Modbus TCP (SunSpec), ModBus RTU (SunSpec), Protocolo Aurora			
Protocolo de comunicação opcional	Modbus TCP (SunSpec), ModBus RTU (SunSpec), Protocolo Aurora			
Meio Ambiente	-25...+ 60°C/-13...140°F com desclassificação acima de 50°C/122°F			
Faixa de temperatura ambiente	25...+ 60°C/-13...140°F com desclassificação acima de 50°C/122°F	-25...+ 60°C/-13...140°F com desclassificação acima de 50°C/122°F	-25...+ 60°C/-13...140°F com desclassificação acima de 45°C/113°F 6)	-25...+ 60°C/-13...140°F com desclassificação acima de 45°C/113°F
Umidade relativa	0 ... 100% de condensação			
Altitude máxima de operação sem redução de capacidade	2000 m/6560 pés			
Físico	IP65			
Classificação de proteção ambiental	Natural			
Resfriamento	Natural			
Dimensões (A x L x P)	553 x 418 x 175 mm/21,8 pol x 16,5 pol x 6,9 pol			
Peso	15 kg/33 lbs			
Sistema de montagem	Suporte de parede			
Segurança	Sem transformador			
Nível de isolamento	CE, RCM			
Marcação	CE, RCM			
Segurança e padrão EMC	IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2, AS/NZS 4777.2, EN 61000-6-1, EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61000-6-4, EN 61000-3-11, EN 61000-3-12			
Padrão de rede (verifique seu canal de vendas quanto à disponibilidade) 7)	CEI 0-21, DIN V VDE V 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, G83/2, G59/3, RD 413, ITC-BT-40, AS/NZS 4777.2, C10/11, IEC 61727, IEC 62116			
Variantes de produtos disponíveis				
Padrão	UNO-DM-3.3-TL-PLUS-B	UNO-DM-4.0-TL-PLUS-B	UNO-DM-4.6-TL-PLUS-B	UNO-DM-5.0-TL-PLUS-B
Com interruptor CC	UNO-DM-3.3-TL-PLUS-SB	UNO-DM-4.0-TL-PLUS-SB	UNO-DM-4.6-TL-PLUS-SB	UNO-DM-5.0-TL-PLUS-SB

1) Consulte o documento "Inversores de linha – apêndice do manual do produto" disponível em www.abb.com/solarinverters para conhecer a marca e o modelo do conector de encaixe rápido

2) Para a configuração do Reino Unido G83/2, a corrente máxima de saída é limitada a 16 A até uma saída máxima de Pcar de 3600 W e uma potência aparente máxima de 3600 VA

3) A faixa de tensão CA pode variar dependendo do padrão de grade do país específico

4) O intervalo de frequência pode variar dependendo do padrão de grade do país específico; CE é válido apenas para 50Hz

5) De acordo com o padrão IEEE 802.11 b/g/n

6) Pcar = 4200 W a 45°C/113°F

7) Será adicionado mais um padrão de grade, consulte a página da ABB Solar para obter mais detalhes
Observação. Recursos não especificados na presente ficha técnica não estão incluídos no produto



Para mais informações, entre em contato com o representante local da ABB ou visite:

www.abb.com/solarinverters
www.abb.com

Reservamo-nos o direito de fazer alterações técnicas ou modificar o conteúdo deste documento sem aviso prévio. Com relação aos pedidos de compra, os detalhes acordados prevalecerão. A ABB AG não aceita qualquer responsabilidade por possíveis erros ou possível falta de informações neste documento.

Reservamo-nos todos os direitos neste documento e no assunto e ilustrações nele contidos. Qualquer reprodução, divulgação a terceiros ou utilização de seu conteúdo - no todo ou em partes - é proibida sem o consentimento prévio por escrito da ABB AG. Copyright © 2017 ABB
Todos os direitos reservados.

