



**INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL
CURSO DE TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA INDUSTRIAL**

Carlos Magno Cássio de Assis

**ESTUDO ENERGÉTICO DOS GERADORES FOTOVOLTAICOS DO
IFAM -CMDI**

MANAUS – AM

2023

Carlos Magno Cássio de Assis

**ESTUDO ENERGÉTICO DOS GERADORES FOTOVOLTAICOS DO
IFAM -CMDI**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - Campus Manaus Distrito Industrial (IFAM-CMDI), como requisito para obtenção do diploma do Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Industrial.

Orientador: Prof. MSc Carlos Fontinelle

MANAUS – AM

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A848e	Assis, Carlos Magno Cássio de. Estudo energético dos geradores fotovoltaicos do IFAM-CMDI / Carlos Magno Cássio de Assis. — Manaus, 2023. 119f.: il. color. Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, <i>Campus</i> Manaus Distrito Industrial, Curso de Tecnologia em Eletrônica Industrial, 2023. Orientador: Prof.º Carlos Gomes Fontinelle, Me. 1. Geração fotovoltaica. 2. Produção de energia. 3. Cálculo computacional. I. Fontinelle, Carlos Gomes. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título. CDD 621.381
-------	---

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734)

CARLOS MAGNO CÁSSIO DE ASSIS

ESTUDO ENERGÉTICO DOS GERADORES FOTOVOLTAICOS NO IFAM-CMDI

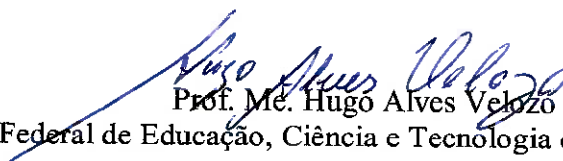
Monografia apresentada à banca examinadora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Industrial.

Aprovada em 20 de DEZEMBRO de 2023

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Carlos Gomes Fontinelle
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM)



Prof. Me. Hugo Alves Velozo
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM)



Prof. Me. Jonatas Vieira de Lima
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM)

MANAUS-AM
2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que sempre me apoie a longo desse período de curso. A minha família que sempre me apoiou nos estudos. Ao meu orientador Carlos Gomes Fontinelle, que desde do período do curso técnico sempre esteve ao meu lado no campo de pesquisa sobre fontes renováveis especificamente na área de energia solar e ao meu amigo de trabalho Diogo Carvalho.

RESUMO:

O Brasil é um dos países com o maior potencial de absorção de energia proveniente do sol devido à sua localização ser próxima a linha do equador. Estudos anteriores já realizados aplica-se em apenas estimar esse potencial usando dados sobre níveis de irradiação, enquanto poucos estudos conduziram modelagem estatística com software que incorpora vários tipos de módulos fotovoltaicos de inversores de corrente e sua eficiência, perdas no sistema e dados sobre condições climáticas locais. O Software (SAM) calcula o desempenho dos sistemas fotovoltaicos com base nas condições climáticas locais e dados inseridos no seu banco de dados de todos os componentes com seus respectivos modelo e fabricante para a realização do cálculo computacional. É, portanto uma ferramenta bastante eficaz para determinar a viabilidade de um projeto fotovoltaico antes de sua implementação e depois para estimativa energética. O principal objetivo deste trabalho é usar o SAM para estimar a produção energética ao longo do ano dos 9 geradores fotovoltaico instalados sobre a cobertura do IFAM-CMDI e consequentemente apontar se há alguma incompatibilidade entre a geração simulada e a gerada em loco que foi extraída pelo software de monitoramento remoto dos inversores GOODWE.

PALAVRAS-CHAVE: Geração Fotovoltaica, Produção de Energia, Cálculo Computacional, Software (SAM).

ABSTRACT:

Brazil is one of the countries with the greatest potential for absorbing energy from the sun due to its location being close to the equator. Previous studies already carried out apply to only estimating this potential using data on irradiation levels, while few studies have conducted statistical modeling with software that incorporates various types of photovoltaic modules of current inverters and their efficiency, system losses and data on local weather conditions. The Software (SAM) calculates the performance of photovoltaic systems based on local climatic conditions and data entered into its database of all components with their respective model and manufacturer to carry out the computational calculation. It is, therefore, a very effective tool for determining the viability of a photovoltaic project before its implementation and afterwards for energy estimation. The main objective of this work is to use SAM to estimate the energy production throughout the year of the 9 photovoltaic generators installed on the roof of IFAM-CMDI and consequently point out if there is any incompatibility between the simulated generation and the one generated on site that was extracted by the remote monitoring software for GOODWE inverters.

KEYWORDS: Photovoltaic Generators. Energy production. Computacional calculation. Software (SAM)

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Composição do espectro da radiação solar	7
Figura 2 - Efeito Fotovoltaico.....	21
Figura 3 - Células solares.....	22
Figura 4 - Células solares.....	22
Figura 5 – Célula solar policristalina.....	23
Figura 6 – Célula solar silício Amorfo.....	24
Figura 7 – Sistema <i>On Grid</i>	26
Figura 8 – Sistema <i>Off Grid</i>	27
Figura 9 – Sistema Híbrido.....	28
Figura10 – Característica elétrica do módulo fotovoltaico	29
Figura 11 –Influência da irradiância modulo fotovoltaico.....	31
Figura 12 –Influência da temperatura modulo fotovoltaico.....	32
Figura 13 -Diodo by-pass módulo Fotovoltaico.....	33
Figura 14 -Reflexão modificador ângulo de incidência.....	34
Figura 15 –Rastreamento ponto de máxima potência.....	35
Figura 16 –Datasheet dos inversores GOODWE.....	36
Figura 17 - Estudo do Local onde instalado os painéis solares.....	42
Figura 18 –Dados climáticos e coordenadas geográficas locais.....	43
Figura 19– Dados de irradiância mensal	44
Figura 20 – Temperatura mensal e anual expostas as células solares.....	45
Figura 21 – Dados elétricos inseridos do módulo fotovoltaico no software.....	46
Figura 22 – Dados elétricos inseridos do inversor de 50 kw.....	46
Figura 23 – Dados elétricos inseridos do inversor de 36 kw.....	47
Figura 24 – Dados elétricos inseridos do inversor de 30 kw.....	47
Figura 25 – inclinação dos Módulos solares.....	48
Figura 26 – Dados da localidade para simulação computacional.....	48
Figura 27 – Simulação via software do local de instalação dos módulos fotovoltaicos e vegetação	49
Figura 28 – Dados das configurações elétricas do gerador 01 entradas do inversor.....	50
Figura 29 – Dados das configurações elétricas do gerador 02, entrada do inversor.....	51
Figura 30 – Dados das configurações elétricas do gerador 03, entrada do inversor.....	51
Figura 31– Dados das configurações elétricas do gerador 04, entrada do inversor.....	51
Figura 32– Dados das configurações elétricas do gerador 05, entrada do inversor.....	52
Figura 33 – Dados das configurações elétricas do gerador 06, entrada do inversor.....	52
Figura 34 – Dados das configurações elétricas do gerador 07, entrada do inversor.....	52
Figura 35 – Dados das configurações elétricas do gerador 08, entrada do inversor.....	53
Figura 36 – Dados das configurações elétricas do gerador 09, entrada do inversor.....	53

Figura 37 – Valores calculados do arranjo elétricos e área de instalação gerador 01.....	54
Figura 38 – Valores calculados do arranjo elétricos e área de instalação gerador 02.....	54
Figura 39 – Valores calculados do arranjo elétricos e área de instalação gerador 03.....	55
Figura 40 – Valores calculados do arranjo elétricos e área de instalação gerador 04.....	55
Figura 41 – Valores calculados do arranjo elétricos e área de instalação gerador 05.....	56
Figura 42 – Valores calculados do arranjo elétricos e área de instalação gerador 06.....	57
Figura 43 – Valores calculados do arranjo elétricos e área de instalação gerador 07.....	57
Figura 44 – Valores calculados do arranjo elétricos e área de instalação gerador 08.....	58
Figura 45 – Valores calculados do arranjo elétricos e área de instalação gerador 09.....	58
Figura 46 – Cálculos de perdas nos geradores via software.....	61
Figura 47 – Comparativo do nível de irradiância entre o mês de maior índice setembro com mês de baixo índice março.....	62
Figura 48 – Amostragem de valores de temperatura expostas as células solares e visualização termográfica dos dias mais quentes durante o ano.....	63
Figura 49 – Comparativo de queda de tensão de circuito aberto.....	64
Figura 50 – Comparativo geração de corrente mês de março e setembro	65
Figura 51 – Porcentagem de perdas nos geradores fotovoltaicos.....	66
Figura 52 – Resultado da geração de tensão de circuito aberto V_{oc} e máxima potência V_{mmp} no gerador.....	67
Figura 53 – Resultado da potência do arranjo e do inversor os números de módulos e a área total necessária para o gerador 01.....	67
Figura 54 – Resultado da simulação a potência gerada na saída do inversor gerador 01.....	68
Figura 55 – Resultado extraído via software de monitoramento em <i>loco</i> na saída do inversor do gerador 01 para o mês de junho	69
Figura 56 – Resultado extraído via software de monitoramento em <i>loco</i> na saída do inversor do gerador 01 para o mês de julho.....	69
Figura 57 – Resultado da simulação da geração energética mensal durante 12 meses para o gerador 01.....	70
Figura 58 – Resultado da geração energética para os meses de junho a dezembro via software de monitoramento em <i>loco</i> no inversor gerador 01.....	71
Figura 59 – Resultado simulação da geração energética total anual e fator de capacidade ge- rador 01.....	72
Figura 60 – Resultado da geração de tensão de circuito aberto V_{oc} e máxima potência V_{mmp} ge- rador 02	72
Figura 61 – Resultado da potência do arranjo e do inversor o número de módulos e a área total necessária para o gerador 02.....	72
Figura 62 – Resultado da simulação a potência gerada na saída do inversor gerador 02.....	73
Figura 63 – Resultado extraído via software de monitoramento em <i>loco</i> na saída do inversor do gerador 02	74
Figura 64– Resultado extraído via software de monitoramento em <i>loco</i> na saída do inversor do gerador 02	74
Figura 65 – Resultado da simulação da geração energética mensal durante 12 meses para o gerador 02.....	75
Figura 66 – Resultado da geração energética para os meses de junho e dezembro via software de monitoramento em <i>loco</i> no inversor gerador 02.....	76
Figura 67 – Resultado simulação da geração energética total anual e fator de capacidade ge- rador 02.....	76

Figura 68– Resultado da geração de tensão de circuito aberto V_{oc} e máxima potência V_{mpp} no gerador 03.....	77
Figura 69 – Resultado da potência do arranjo e do inversor o número de módulos e a área total necessária para o gerador 03.....	78
Figura 70 – Resultado da simulação a potência gerada na saída do inversor gerador 03.....	78
Figura 71 – Resultado extraído via software de monitoramento em <i>loco</i> na saída do inversor do gerador 03	79
Figura 72– Resultado extraído via software de monitoramento em <i>loco</i> na saída do inversor do gerador 03	80
Figura 73 – Resultado da simulação da geração energética mensal durante 12 meses para o gerador 03.....	81
Figura 74 – Resultado da geração energética para os meses de junho a dezembro via software de monitoramento em <i>loco</i> no inversor gerador 03.....	82
Figura 75 – Resultado simulação da geração energética total anual e fator de capacidade gerador 03.....	82
Figura 76 – Resultado da geração de tensão de circuito aberto V_{oc} e máxima potência V_{mpp} no gerador 04.....	83
Figura 77 – Resultado da potência do arranjo e do inversor o número de módulos e a área total necessária para o gerador 04.....	84
Figura 78 – Resultado da simulação a potência gerada na saída do inversor gerador 04.....	85
Figura 79 – Resultado extraído via software de monitoramento em <i>loco</i> na saída do inversor do gerador 04	85
Figura 80 – Resultado extraído via software de monitoramento em <i>loco</i> na saída do inversor do gerador 04	86
Figura 81 – Resultado da simulação da geração energética mensal durante 12 meses para o gerador 04.....	87
Figura 82 – Resultado da geração energética para os meses de junho a dezembro via software de monitoramento em <i>loco</i> no inversor gerador 04.....	87
Figura 83 – Resultado simulação da geração energética total anual e fator de capacidade gerador 04.....	88
Figura 84 – Resultado da geração de tensão de circuito aberto V_{oc} e máxima potência V_{mpp} no gerador 05.....	89
Figura 85 – Resultado da potência do arranjo e do inversor os números de módulos e a área total necessária para o gerador 05.....	89
Figura 86 – Resultado da simulação a potência gerada na saída do inversor gerador 05.....	90
Figura 87 – Resultado extraído via software de monitoramento em <i>loco</i> na saída do inversor do gerador 05 para.....	91
Figura 88 – Resultado extraído via software de monitoramento em <i>loco</i> na saída do inversor do gerador 05	91
Figura 89 – Resultado da simulação da geração energética mensal durante 12 meses para o gerador 05.....	93
Figura 90 – Resultado da geração energética para os meses de junho e julho via software de monitoramento em <i>loco</i> no inversor gerador 05.....	94
Figura 91 – Resultado simulação da geração energética total anual e fator de capacidade gerador 05.....	94
Figura 92 – Resultado da geração de tensão de circuito aberto V_{oc} e máxima potência V_{mpp} no gerador 06.....	95

Figura 93 – Resultado da potência do arranjo e do inversor o número de módulos e a área total necessária para o gerador 06.....	96
Figura 94 – Resultado da simulação a potência gerada na saída do inversor gerador 06.....	96
Figura 95 – Resultado extraído via software de monitoramento em <i>loco</i> na saída do inversor do gerador 06 para	97
Figura 96 – Resultado extraído via software de monitoramento em <i>loco</i> na saída do inversor do gerador 06	97
Figura 97 – Resultado da simulação da geração energética mensal durante 12 meses para o gerador 06.....	98
Figura 98 – Resultado da geração energética para os meses de junho a dezembro via software de monitoramento em <i>loco</i> no inversor gerador 06.....	99
Figura 99 – Resultado simulação da geração energética total anual e fator de capacidade gerador 06.....	99
Figura 100 – Resultado da geração de tensão de circuito aberto V_{oc} e máxima potência V_{mpp} no gerador 07.....	100
Figura 101 – Resultado da potência do arranjo e do inversor o número de módulos e a área total necessária para o gerador 07.....	101
Figura 102 – Resultado da simulação a potência gerada na saída do inversor.....	102
Figura 103 – Resultado extraído via software de monitoramento em <i>loco</i> na saída do inversor do gerador 07	103
Figura 104 – Resultado extraído via software de monitoramento em <i>loco</i> na saída do inversor do gerador 07	103
Figura 105 – Resultado da simulação da geração energética mensal durante 12 meses para o gerador 07.....	104
Figura 106 – Resultado da geração energética para os meses de junho e dezembro via software de monitoramento em <i>loco</i> no inversor gerador 07.....	105
Figura 107 – Resultado simulação da geração energética total anual e fator de capacidade gerador 07.....	105
Figura 108– Resultado da geração de tensão de circuito aberto V_{oc} e máxima potência V_{mpp} no gerador 08.....	106
Figura 109 – Resultado da potência do arranjo e do inversor o número de módulos e a área total necessária para o gerador 08.....	107
Figura 110 – Resultado da simulação a potência gerada na saída do inversor gerador 08.....	108
Figura 111 – Resultado extraído via software de monitoramento em <i>loco</i> na saída do inversor do gerador 08	108
Figura 112 – Resultado extraído via software de monitoramento em <i>loco</i> na saída inversor 08	110
Figura 113 – Resultado da simulação da geração energética mensal durante 12 meses para o gerador 08.....	111
Figura 114 – Resultado da geração energética para os meses de junho e dezembro via software de monitoramento em <i>loco</i> no inversor gerador 08.....	111
Figura 115 – Resultado simulação da geração energética total anual e fator de capacidade gerador 08.....	112
Figura 116 – Resultado da geração de tensão de circuito aberto V_{oc} e máxima potência V_{mpp} no gerador 09.....	113

Figura 117 –Resultado da potência do arranjo e do inversor o número de módulos e a área total necessária para o gerador 09.....	114
Figura 118 –Resultado da simulação a potência gerada na saída do inversor gerador 09...	114
Figura 119 – Resultado extraído via software de monitoramento em <i>loco</i> na saída do inversor do gerador 09	115
Figura 120 – Resultado extraído via software de monitoramento em <i>loco</i> na saída do inversor do gerador 09	116
Figura 121 – Resultado da simulação da geração energética mensal durante 12 meses para o gerador 09.....	117
Figura 122 – Resultado da geração energética para os meses de junho a dezembro via software de monitoramento em <i>loco</i> no inversor gerador 09.....	117
Figura 123 – Resultado simulação da geração energética total anual e fator de capacidade gerador 09.....	117

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 – Configuração dos 9 geradores fotovoltaico conforme o manual descritivo.....	39
Tabela 2 – Resultado dos valores reais e simulados e seus respectivos erros médios de junho a dezembro para o gerador 01.....	61
Tabela 3 – Resultado dos valores reais e simulados e seus respectivos erros médios de junho a dezembro para o gerador 02.....	68
Tabela 4 – Resultado dos valores reais e simulados e seus respectivos erros médios de junho a dezembro para o gerador 03.....	75
Tabela 5 – Resultado dos valores reais e simulados e seus respectivos erros médios de junho a dezembro para o gerador 04.....	82
Tabela 6 – Resultado dos valores reais e simulados e seus respectivos erros médios de junho a dezembro para o gerador 05.....	89
Tabela 7 – Resultado dos valores reais e simulados e seus respectivos erros médios de junho a dezembro para o gerador 06.....	96
Tabela 8 – Resultado dos valores reais e simulados e seus respectivos erros médios de junho a dezembro para o gerador 07.....	103
Tabela 9 – Resultado dos valores reais e simulados e seus respectivos erros médios de junho a dezembro para o gerador 08.....	110
Tabela 10 – Resultado dos valores reais e simulados e seus respectivos erros médios de junho a dezembro para o gerador 09.....	117

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

P_{mpp} : Potência Máxima

V_{mpp} : Tensão de Máxima potência

I_{mpp} : Corrente de Máxima Potência

V_{oc} : Tensão de Circuito aberto

I_{oc} : Corrente de circuito aberto

P_{max} : Temperature coefficient: Coeficiente de temperatura de potência

$V_{oc\ tem}$: Temperature coefficient: Coeficiente de temperatura para tensão para circuito aberto

$I_{SC\ tem}$: Temperature coefficient: Coeficiente de temperatura corrente para a corrente de circuito aberto

STC: Standard testing conditions (condição padrão de teste).

MPPT: Maximum power point tracking (rastreamento de ponto de máxima potência).

NREL: National Renewable Energy Laboratory.

ECU: Unidade de condicionamento energia.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	PROBLEMÁTICA	3
1.2	JUSTIFICATIVA	4
1.3	OBJETIVOS	5
1.4	HIPÓTESE	5
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	6
2	REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1	RADIAÇÃO SOLAR	7
2.2	EFEITO FOTOVOLTAICO.....	8
2.3	CÉLULAS SOLARES.....	9
2.4	TIPOS DE CÉLULAS SOLARES	10
2.4.1	Célula Monocristalina.....	10
2.4.2	Célula Policristalina.....	11
2.4.3	Célula de silício amorfo.....	12
2.5	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	13
2.5.1	Sistemas conectado a rede elétrica (<i>On Grid</i>)	14
2.5.2	Sistemas isolados (<i>Off Grid</i>).....	15
2.5.3	Sistemas conectado à rede Híbrido	16
2.6	COMPONENTES DO SISTEMAS FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE ELÉTRICA (ON GRID)	17
2.7	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	17
2.8	CARACTERISTICA ELÉTRICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICO...	17

2.9	FATORES QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	19
2.9.1	Efeito de Irradiância.....	19
2.9.2	Efeito de temperatura.....	20
2.9.3	Efeito de sombreamento	21
2.9.4	Efeito de inclinação dos módulos Fotovoltaicos	22
2.9.5	Efeito de sujidade.....	23
2.9.6	Efeito de Reflexão (IAM)	23
2.9.7	Efeito de Mismatch (Fabricação).....	24
2.9.8	Perdas de desvio das condições STC dos Módulos Fotovoltaicos	24
2.10	INVERSORES PARA CONEXÃO A REDE ELÉTRICA	24
2.11	CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS INVERSOR ON GRID	25
2.11.1	Faixa de operação de tensão contínua na entrada do inversor	26
2.11.2	Tensão contínua máxima na entrada do inversor	27
2.11.3	Número máximo de Strings na entrada do inversor	27
2.11.4	Números máximo de entradas independentes com MPPT	27
2.12	PERDAS ELÉTRICAS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	27
2.13	SOFTWARE SOLARIMETRO	28
2.14	SOFTWARE SAM (NREL)	28
2.15	SOFTWARE MONITORAMENTO SOLAR GOODWE	29
2.16	MÉTRICAS DE PRODUÇÃO ENERGÉTICA.....	29
2.16.1	Capacity Factor (Fator de Capacidade).....	29
2.16.2	Energy Yield	29
3	METODOLOGIA	30
3.1	DIMENSIONAMENTO DO SFCR (CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO)	31

3.1.2	Simulação Computacional	31
3.1.3	Simulação Computacional de irradiância	32
		33
3.1.4	Cálculo de Temperatura média sobre as células solares	33
3.1.5	Obtenção dos parâmetros elétricos do módulo Fotovoltaico e inversores utilizados nos geradores Fotovoltaico via manual descritivo para realização da Simulação Computacional	34
3.1.6	Inclinação dos módulos Fotovoltaicos e simulação de vegetação para o cálculo computacional.	37
3.1.7	Obtenção das configurações dos arranjos dos 9 geradores Fotovoltaicos ...	39
3.1.8	Simulação dos parâmetros elétricos gerados para cálculo energético e perdas nos sistemas.	43
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	50
4.1	NÍVEL DE IRRADIÂNCIA	50
4.1.1	Temperatura sobre as células solares.	51
4.1.2	Resultado gráfico do efeito de temperatura sobre a tensão de circuito aberto do módulo Fotovoltaico.....	52
4.1.3	Geração de corrente de curto-circuito em relação a irradiância.	53
4.1.4	Porcentagem de perdas nos Geradores Fotovoltaicos.....	54
4.1.5	Cálculo dos parâmetros elétricos dos sistemas fotovoltaicos e resultados das simulações de geração energética mensal durante 12 meses e comparativo com os valores extraídos via software de monitoramento dos inversores.....	54
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	118
6	TRABALHOS FUTUROS.....	119
	REFERÊNCIAS.....	120
	ANEXOS	122
	ANEXOS A – Datasheet Módulos jacer plus RSM156-6-425M-445M	122

ANEXOS B – Datasheet Inversor GOODWE.....	124
---	-----

1 INTRODUÇÃO

Segundo Almonacid et.al 2011, a energia solar fotovoltaica é uma energia limpa e renovável com grande potencial, fácil de instalar e manter, altamente confiável e duradoura. Nos últimos anos, este tipo de energia tem experimentado um crescimento notável e rápido devido aos recentes compromissos ambientais apresentados pelos países desenvolvidos e a sua vantagem comparativa. Os sistemas fotovoltaicos possuem características especiais que proporcionam algum valor agregado como sistemas de geração de energia. De fato, a ascensão da energia fotovoltaica como fórmula de obtenção de electricidade é uma das mais elevadas registadas no domínio das energias renováveis e espera-se que esta tendência continue nos próximos anos.

Segundo C.Has-Casas et.al 2014, hoje em dia, o aumento da procura de energia tem motivado uma sobreexploração das fontes de energia convencionais. Portanto, o uso progressivo de fontes de energia renováveis torna-se essencial. Neste contexto, a energia fotovoltaica desempenha um papel importante como forma limpa e eficiente de geração de eletricidade.

Estimar a energia fornecida pelos geradores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede é importante para analisar sua viabilidade energética e supervisionar sua operação . Um gerador fotovoltaico pode ser definido como um conjunto de módulos fotovoltaicos interconectados eletricamente em combinações série-paralelo. Inclui também os fios que interligam os módulos, a estrutura na qual os módulos são montados e os fios que conectam os módulos ao inversor. A energia fornecida por tal gerador fotovoltaico depende dos parâmetros atmosféricos, das características elétricas do gerador e de sua orientação e inclinação . Considerando que a captação anual de energia de um gerador fotovoltaico é diretamente proporcional à irradiação global recebida no plano do gerador não é realista . Em geradores fotovoltaicos reais, algumas perdas devem ser levadas em consideração para o cálculo da energia produzida, como perdas de temperatura, perdas por incompatibilidade, sujeira e poeira etc .

Os sistemas de energia fotovoltaica fizeram uma transição bem-sucedida de pequenos locais autônomos para grandes sistemas conectados à rede. A interconexão das

concessionárias traz uma nova dimensão à economia de energia renovável ao reunir o excesso temporal ou a deficiência da energia renovável com a rede de conexão que gera energia de carga base usando combustível convencional . Vários fatores levaram à evolução do uso intensivo de sistemas fotovoltaicos. Os factores mais significativos são o aumento mundial da procura de energia e o fato das fontes de energia fósseis serem finitas e caras. Outra questão importante é o impacto das tecnologias energéticas no ambiente e o fato de a energia fotovoltaica ter se tornado uma tecnologia madura.

O aumento no número de sistemas fotovoltaicos instalados em todo o mundo introduziu a necessidade de algoritmos de supervisão e controle , bem como ferramentas de projeto e simulação para pesquisadores e engenheiros envolvidos neste tipo de aplicações. Entre as diferentes abordagens para projeto e simulação de sistemas fotovoltaicos existentes atualmente , as ferramentas mais populares são softwares comerciais específicos que ajudam no projeto de sistemas fotovoltaicos como PV*sol e PVsyst o SAM e etc . Estas ferramentas fornecem uma boa abordagem do projeto e comportamento do sistema fotovoltaicos em diferentes condições de funcionamento , gerando assim um prognóstico de energia. Neste contexto este trabalho objetiva realizar um estudo energético nos 9 geradores fotovoltaicos instalados sobre a cobertura do IFAM-CMDI comparando entre o valor simulado computacionalmente e extraído no local nos meses de junho a dezembro.

1.1 PROBLEMÁTICA

Segundo Glawcal (2015), a energia solar poderia ajudar o Brasil a evitar os efeitos catastróficos da sua crise energética iminente. O Brasil enfrenta atualmente uma seca devastadora, que está causando uma queda trágica nos níveis dos reservatórios que abastecem muitas barragens hidrelétricas situadas na potência industrial e principal centro populacional do país. Além disso, com a aproximação do período de seca de sete meses, os reservatórios poderão cair até 10% da sua capacidade, o que teria efeitos “catastróficos” na segurança energética. Na verdade, dada a situação atual, o país - que atualmente depende de barragens hidroelétricas para até 80% da sua energia - precisa diversificar as suas fontes de energia, e o Ministro anunciou os seus planos para transformar muitas barragens hidroelétricas em parques de energia solar, anexando painéis solares para bóias e fazê-las flutuar na superfície dos reservatórios cada vez menores. Isto, segundo cálculos feitos por funcionários do ministério, poderia gerar até 15.000 MegaWatts (MW) de energia. Os painéis solares serão testados inicialmente em duas barragens pertencentes a empresas estatais e, caso o projecto seja bem sucedido, será alargado a outras barragens no sudeste e centro-oeste do país. Braga quer introduzir novas regras para promover a instalação de painéis solares em edifícios com grandes coberturas, e também prometeu incentivos fiscais para a produção de painéis fotovoltaicos.

Diante deste cenário de crise energética e baseado-se nos bons resultados de sistemas já instalados o IFAM-CMDI optou em instalar 9 geradores fotovoltaicos para a sua geração energética, e o estudo para mensurar essa geração e avaliar sua produtividade anual é a base deste trabalho.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo dados Gov (2022), no Brasil, a capacidade de geração de energia renovável corresponde a 84%, superior à média mundial de 38%. Devido aos grandes investimentos, a participação da energia solar na matriz energética brasileira atingiu 6,9% e a eólica, 10,9%. No ano passado, o Brasil registrou recorde histórico na expansão de usinas no mercado livre, com mais de 3 GW instalados e 75% das usinas implantadas foram eólicas e fotovoltaicas. O governo brasileiro trabalha para conscientizar a população sobre a importância da eficiência energética e da geração de energia limpa e renovável diante da crescente demanda global.

1.3 OBJETIVOS

GERAL:

- ✓ Avaliar a produção energética de 9 dos geradores fotovoltaicos instalados na cobertura do IFAM –CMDI ao longo de 12 meses e comparar com simulação computacional via SAM entre os meses de junho a dezembro.

ESPECÍFICOS:

Os objetivos específicos são:

- ✓ Estimar o nível de irradiância e temperatura através do banco de dados do software SAM;
- ✓ Extrair através dos manuais técnicos os parâmetros elétricos dos principais componentes que compõe os geradores fotovoltaicos como os inversores e o módulo fotovoltaico;
- ✓ Colher através do manual descritivo e do diagrama unificar de instalação dos geradores fotovoltaicos para a realização da simulação computacional;
- ✓ Avaliar o desempenho do módulo com base na temperatura ambiente ao longo de 12 meses e outros fatores de perdas;
- ✓ Quantificar a produção energética ao longo de 12 meses dos geradores fotovoltaicos via simulação computacional e comparar com o gerado no local de instalação de junho a dezembro com seu respectivo desvio de erro;

1.4 HIPÓTESE

Para os objetivos deste trabalho, foi levantada a seguinte hipótese:

Hipótese: Com a realização de simulações computacional dos 9 geradores fotovoltaicos instalados sobre a cobertura do IFAM-CMDI foi possível realizar um comparativo energético entre o gerado fisicamente e o simulado para uma análise energética do sistema.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho refere-se ao estudo de análise energética 9 geradores fotovoltaicos instalados sobre a cobertura do IFAM-CMDI via software computacional SAM e comparar e com a produção energética em *loco*. Este estudo está dividido em seis tópicos.

Capítulo 1: Neste capítulo é apresentado a introdução, a problemática e a justificativa do projeto, os objetivos gerais; objetivos específicos e uma hipótese.

Capítulo 2: Neste capítulo é apresentado o referencial teórico

Capítulo 3: É apresentado; a metodologia utilizada para o desenvolvimento da análise energética dos 9 geradores fotovoltaicos.

Capítulo 4: É apresentado a Análise e Discussão dos Resultados simulados.

Capítulo 5: Considerações finais.

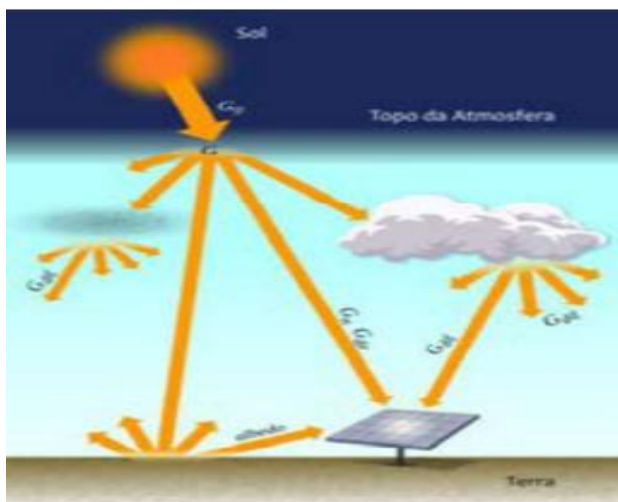
Capítulo 6: Trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RADIAÇÃO SOLAR

O sol é a principal fonte de energia e é o que mantém a vida sobre o planeta terra. Segundo Almarão et al. (2021), a radiação emitida sobre a superfície terrestre é composta pela componente direta e a componente difusa. A componente direta aquela que atravessa de forma direta a atmosfera terrestre sem o efeito do espalhamento e produz sombras em contrapartida a componente difusa é aquela oriunda de todas as direções após sofrer espalhamento na atmosfera terrestre. Mostrada na Fig. 1.

Figura 1 – Componentes direta e difusa na atmosfera terrestre.

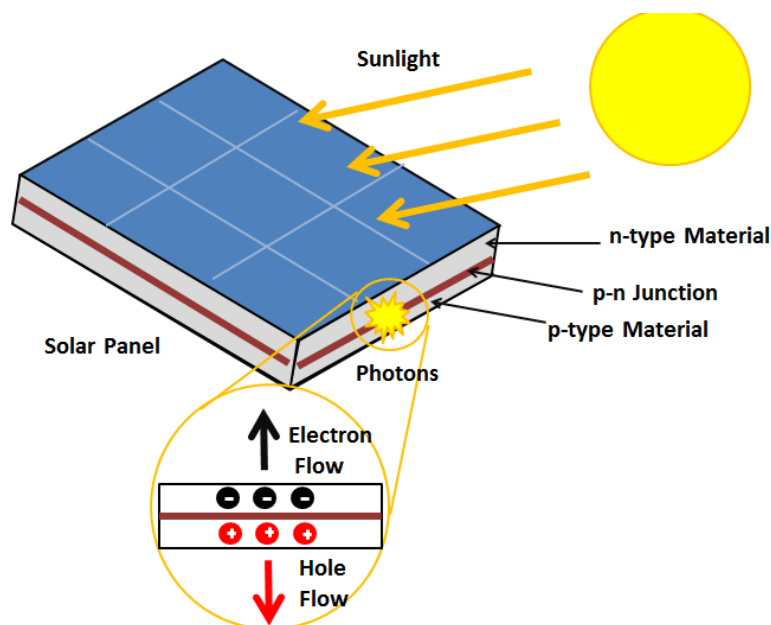


Fonte: Almarão et al. (2021).

2.2 EFEITO FOTOVOLTAICO

Segundo G. Boyle (2004), o efeito fotovoltaico é um processo que gera tensão ou corrente elétrica em uma célula fotovoltaica quando esta é exposta à luz solar. É esse efeito que torna os painéis solares úteis, pois é como as células dentro do painel que convertem a luz do sol em energia elétrica. O efeito fotovoltaico foi descoberto pela primeira vez em 1839 por Edmond Becquerel. Ao fazer experimentos envolvendo células úmidas, ele notou que a voltagem da célula aumentava quando suas placas de prata eram expostas à luz solar. A luz é composta de fótons, que são simplesmente partículas elementares mediadora da força eletromagnética. Esses fótons podem ser absorvidos por uma célula fotovoltaica - o tipo de célula que compõe os painéis solares. Quando a luz de um comprimento de onda adequado incide nessas células, a energia do fóton é transferida para um átomo do material semicondutor na junção p-n. E especificamente, a energia é transferida para os elétrons no material. Isso faz com que os elétrons saltem para um estado de energia mais alto, conhecido como banda de condução. Isso deixa um "buraco" na banda de valência de onde o elétron saltou. Esse movimento do elétron como resultado da adição de energia cria dois portadores de carga, um par elétron-lacuna. Quando não excitados, os elétrons mantêm o material semicondutor unido formando ligações com os átomos circundantes e, portanto, não podem se mover. No entanto, em seu estado excitado na banda de condução, esses elétrons são livres para se mover através do material. Por causa do campo elétrico que existe como resultado da junção p-n, elétrons e buracos se movem na direção oposta conforme o esperado. Em vez de ser atraído para o lado p, o elétron liberado tende a se mover para o lado n. Este movimento do elétron cria uma corrente elétrica na célula. Uma vez que o elétron se move, resta um "buraco". Este buraco também pode se mover, mas na direção oposta ao lado p. É este processo que cria uma corrente na célula. Um diagrama deste processo pode ser visto na Fig.2

Figura 2 - Efeito Fotovoltaico

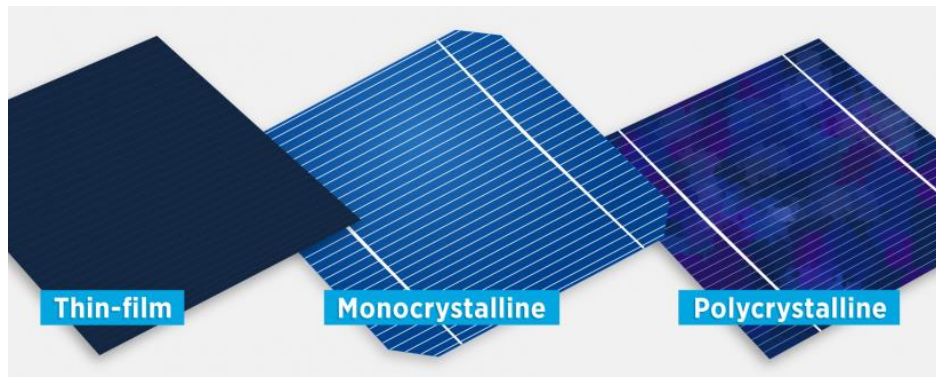


Fonte: G. Boyle (2004).

2.3 CÉLULAS SOLARES

Segundo U.S DEPARTAMENT ENERGY (2018), quando a luz brilha em uma célula fotovoltaica essa luz pode ser refletida, absorvida ou passar direto pela célula. A célula fotovoltaica é composta de material semicondutor, o semi significa que ele pode conduzir eletricidade melhor que um isolante, mas não tão bem quanto um bom condutor como um metal. Existem vários materiais semicondutores diferentes usados em células fotovoltaicas os mais populares são os monocristalino, policristalinos e Filmes finos mostrada Fig. 3 abaixo.

Figura 3 - Células solares



Fonte: U.S Department Energy (2018).

2.4 TIPOS DE CÉLULAS SOLARES

2.4.1 Célula Monocristalina

Segundo Sawle e Thirunavukkarasu (2021), uma célula solar monocristalina mostrada na Fig. 4, é fabricada usando cristais únicos de silício por um procedimento denominado progresso de Czochralski. Sua eficiência do monocristalino situa-se entre 15% e 20%. É de forma cilíndrica composta de lingotes de silício. As quatro laterais dos lingotes cilíndricos são cortadas para formar pastilhas de silício para otimizar seu desempenho.

Figura 4 - Células solares



Fonte: U.S Department Energy
(2018).

2.4.2 Célula Policristalina

Segundo Sawle e Thirunavukkarasu (2021), o silício policristalino (também chamado de: polissilício, poli cristal, poli-Si ou também: multi-Si, mc-Si) Fig. 5, é fabricado a partir de lingotes quadrados fundidos, produzidos por resfriamento e solidificação do silício fundido. O silício líquido é vertido em blocos que são cortados em placas finas. A solidificação do material resulta em células que contêm muitos cristais, tornando a superfície da célula poli-Si/mc-Si menos perfeita do que a mono-Si. Devido a esses defeitos, as células policristalinas absorvem menos energia solar, consequentemente produzem menos eletricidade e, portanto, são menos eficientes do que as células monocristalinas de silício (mono-Si).

Figura 5 – Célula solar policristalina



Fonte: sinovoltaics (2020).

2.4.3 Célula de silício amorfo

Segundo Soteris e Kalogirou (2019), geralmente, a principal diferença entre essas células e as anteriores é que, em vez da estrutura cristalina, as células de silício amorfo são compostas por átomos de silício em uma fina camada homogênea. Além disso, o silício amorfo absorve a luz com mais eficiência do que o silício cristalino, o que leva a células mais finas, também conhecidas como tecnologia PV de filme fino. A maior vantagem dessas células é que o silício amorfo pode ser depositado em uma ampla gama de substratos, tanto rígidos quanto flexíveis. Sua desvantagem é a baixa eficiência, que é da ordem de 6%. Hoje em dia, os painéis feitos de células solares de silício amorfo mostrado na Fig. 6, vêm em uma variedade de formas, como telhas, que podem substituir telhas de tijolos normais em um telhado solar.

Figura 6 – Célula solar silício Amorfo



. Fonte: Mouser (2019).

2.5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Segundo Portalsolar (2018) , os sistemas fotovoltaicos são divididos em três modalidades : Sistema conectado à rede elétrica (*On grid*) , Sistema isolado (*Off grid*) e sistemas híbridos o três sistemas trabalham basicamente de forma similar são alojados em edificações ou solo onde os módulos fotovoltaicos captam a energia proveniente do sol e transforma em energia elétrica a corrente continua gerada pelo os módulos é convertida em corrente alternada pelo equipamento denominado inversor adequada para os equipamentos tanto industrias como residenciais .

2.5.1 Sistemas conectado à rede elétrica (*On Grid*)

Segundo Adefarati e Bansal (2019), sistemas fotovoltaicos conectados à rede ou sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica, são projetados principalmente para operar e se interconectar com as redes de serviços públicos das estações de energia elétrica Fig. 7. A unidade de condicionamento de energia (ECU), também denominada inversor, é o componente primário e principal dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. O inversor é utilizado para converter a corrente contínua dos módulos fotovoltaicos em corrente alternada, compatível com a qualidade de energia exigida pelas estações de rede elétrica.

Figura 7 – Sistema *On Grid*

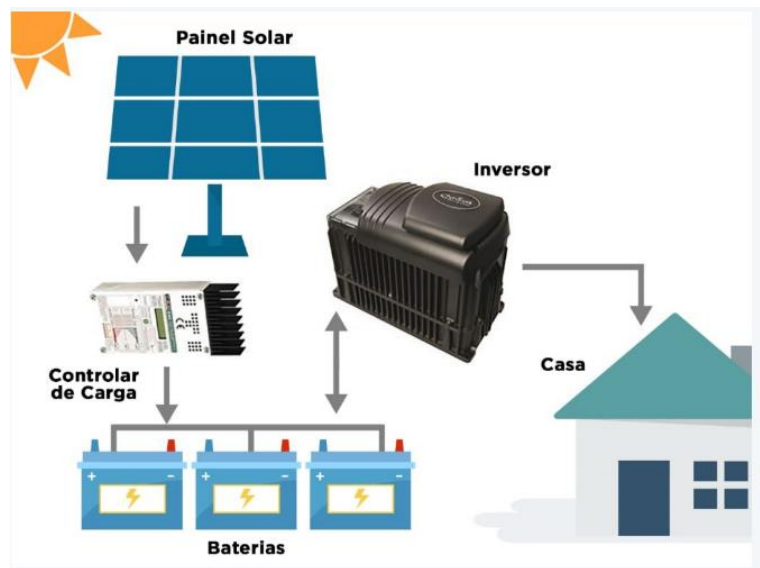


Fonte: Logosolar (2019).

2.5.2 Sistemas isolados (*Off Grid*)

Sistemas *off-grid*, são aqueles sistemas autônomos, isolados da rede de distribuição de energia elétrica, que se sustentam através de baterias, quando há a necessidade de armazenamento de energia elétrica e usa-se um controlador de carga com a finalidade de proteger a bateria de sobrecarga ou descarga profunda e usa-se um inversor para gerar a alimentação AC para os equipamentos elétricos Cresesb (2008), sistema mostrado na Fig. 08 abaixo.

Figura 8 – Sistema *Off Grid*

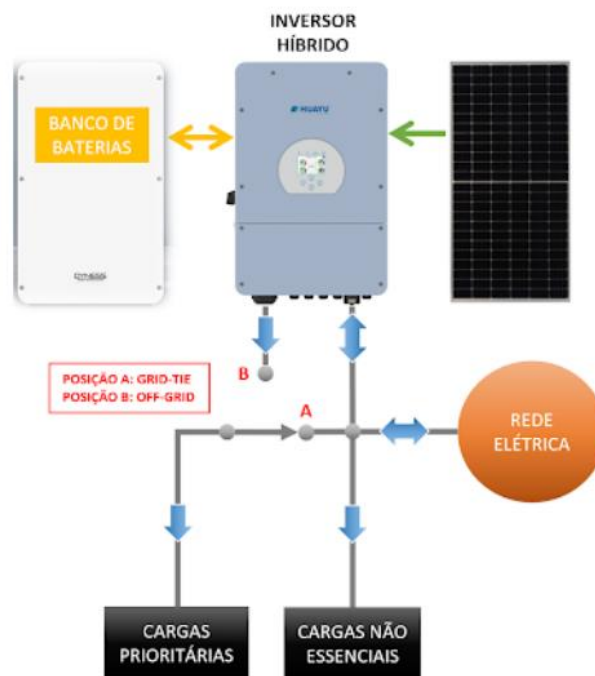


Fonte: Shareenergy (2019).

2.5.3 Sistemas conectado à rede Híbrido

Canal solar (2021), os sistemas híbridos são aqueles que operam no *modo On-Grid e Off-Grid*, são bastante úteis quando é necessário Backup. Deste modo mesmo que a energia da concessionária não estiver disponível pode se manter energizada as cargas com um banco de baterias. Abaixo na Fig. 9 é mostrado a configuração básica de um sistema híbrido.

Figura 9 – Configuração básica de um sistema Híbrido



Fonte: Canal Solar (2019).

2.6 COMPONENTES DO SISTEMAS FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE ELÉTRICA (ON GRID)

2.7 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Módulos Fotovoltaicos é composto por células fotovoltaicas estão conectados em arranjos para produzir corrente e tensão suficiente para a produção de energia e gerar ao mesmo tempo proteção das células. As células fotovoltaicas produzem uma tensão muito baixa na ordem de 0,5 V a 0,8 V para as células de silício sendo assim para de obter níveis adequados de tensão as células são agrupadas em série para a obtenção de valores adequados de tensão que é produto da soma das tensões individuais de cada célula. Os números de células conectados no arranjo pode ser em serie ou em paralelo depende do valor desejado de tensão e corrente Pinho e Galdino (2014).

2.8 CARACTERISTICA ELÉTRICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICO

As características elétricas dos módulos são fatores importantes para o desenvolvimento de projetos solares pois através desses parâmetros os projetistas desenvolvem os projetos com mais eficiência e segurança. Na Fig. 10 abaixo é mostrado o datasheet do módulo fotovoltaico no projeto dos geradores do IFAM-CMDI.

Figura 10 – Características elétricas módulo fotovoltaico

ELECTRICAL DATA (STC)						TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS	
Model Number	RSM156-6-425M	RSM156-6-430M	RSM156-6-435M	RSM156-6-440M	RSM156-6-445M	Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	45°C±2°C
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	425	430	435	440	445	Temperature Coefficient of Voc	-0.29%/°C
Open Circuit Voltage-Voc(V)	52.23	52.38	52.50	52.62	52.70	Temperature Coefficient of Isc	0.05%/°C
Short Circuit Current-Isc(A)	10.38	10.47	10.57	10.67	10.77	Temperature Coefficient of Pmax	-0.37%/°C
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	43.50	43.60	43.70	43.80	43.90	Operational Temperature	-40°C~+85°C
Maximum Power Current-Imp(A)	9.78	9.87	9.97	10.06	10.15	Maximum System Voltage	1500VDC
Module Efficiency (%) *	19.6	19.8	20.1	20.3	20.5	Max Series Fuse Rating	20A
STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.						Limiting Reverse Current	20A
* Module Efficiency (%): Round-off to the nearest number							

Fonte: Jager Plus (2019).

Segundo Pinho e Galdino (2014), o módulo fotovoltaico é caracterizado pela potência de pico (Wp), porém outras características devem ser analisadas. É importante salientar que os testes realizados para definir esses parâmetros elétricos são feitos nas condições padrão de ensaio (STC) com a irradiância de 1000 W /m² com uma distribuição espectral AM 1,5 e temperatura de 25° C. Na Fig. 10 acima é mostrado o datasheet do módulo monocristalino utilizado no projeto de modelo RSM156-6-445M, e abaixo é definido e extraído algumas especificações elétricas.

- Potência Máxima (P_{mpp}) = Máxima potência transferida a carga em (Wp) 445Wp.
- Tensão de Máxima potência (V_{mpp}) = Tensão máxima durante a máxima transferência de potência 43,90V.
- Corrente de máxima potência (I_{mpp}) = Corrente máxima durante a máxima transferência de potência 10.15A.
- Tensão de circuito Aberto (V_{oc}) = Tensão máxima sem a carga 52.90V
- Corrente de circuito aberto (I_{oc}) = Corrente máxima sem a carga (10.77 A).
- Coeficiente de temperatura (P_{max}) =. Esse coeficiente mostra a queda de potência para cada grau de elevação de temperatura (- 0,37%/° C).

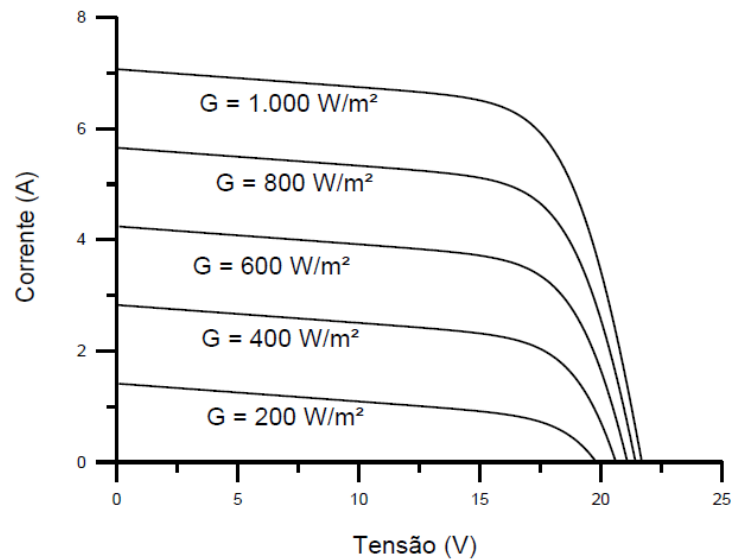
- Coeficiente de temperatura de tensão ($V_{oc\ tem}$)=. Esse coeficiente indica o valor na redução da tensão para cada grau de elevação de temperatura (- 0,29%/° C).
- Coeficiente de temperatura ($I_{SC\ tem}$) =. Esse valor indica o acréscimo de corrente para cada grau de elevação de temperatura (0,05%/ °C).

2.9 FATORES QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

2.9.1 Efeito de Irradiância

Segundo Silvera Henrique (2020), a corrente elétrica gerada pelo módulo fotovoltaico aumenta como o aumento da irradiância. A corrente de curto-circuito obedece a uma característica linear com a irradiância, enquanto a tensão tem o comportamento logaritmo, efeito da irradiância sobre a corrente de curto-circuito e tensão do módulo fotovoltaico é mostrado na Fig. 11 abaixo.

Figura 11 – Influência da irradiância módulo fotovoltaico.

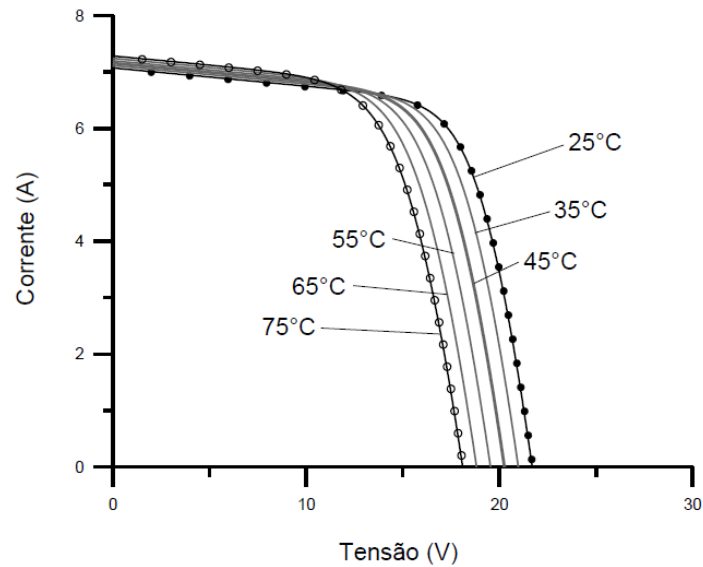


Fonte: Pinho e Galdino (2014).

2.9.2 Efeito de temperatura

Segundo Beltrão (2008), o aumento da temperatura gera dois efeitos na saída das células fotovoltaicas. O efeito mais agravante é a redução proporcional da tensão com o aumento da temperatura. Outro efeito gerado é um acréscimo muito baixo da corrente, o que resulta na redução da potência máxima gerada pelo módulo mostrado na Fig. 12 abaixo.

Figura 12 – Influência da temperatura módulo Fotovoltaico

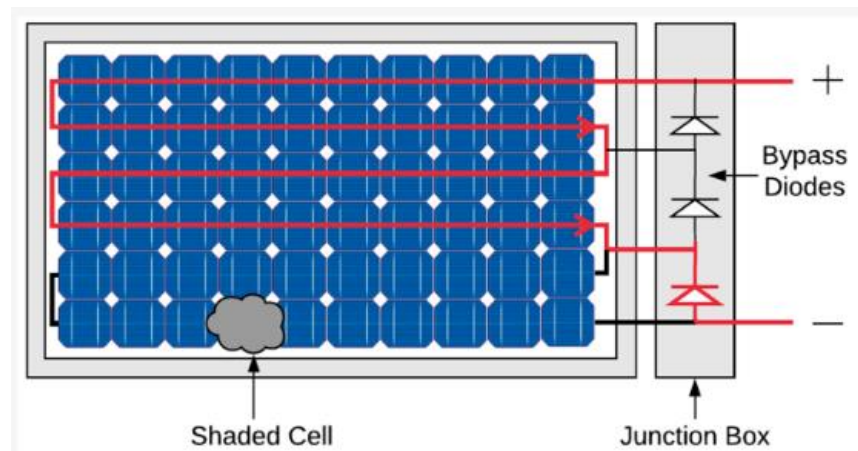


Fonte: Pinho e Galdino (2014).

2.9.3 Efeito de sombreamento

Conforme ProstarSolar (2020), o efeito sombra ocorre quando um sistema fotovoltaico não recebe a mesma quantidade de nível de irradiação incidente em todo o sistema devido a obstáculos. Nessas condições, as células que recebem um nível mais baixo de irradiância podem absorver energia em vez de produzi-la. Os diodos de by-pass são usados para reduzir o impacto do efeito de sombreamento e para proteger os painéis solares mono ou poli mostrado na Fig. 13.

Figura 13 – Diodo by-pass módulo Fotovoltaico.



Fonte: mdpi (2014).

2.9.4 Efeito de inclinação dos módulos Fotovoltaicos

Conforme Villalva e Gazoli (2012), é possível determinar como base uma boa inclinação com base na latitude geográfica que possibilite uma boa produção energética ao longo do ano. Não se recomenda a instalação de módulos fotovoltaicos com inclinação inferior a 10° para evitar o acúmulo de poeira sobre as placas assim consequentemente evita-se perdas.

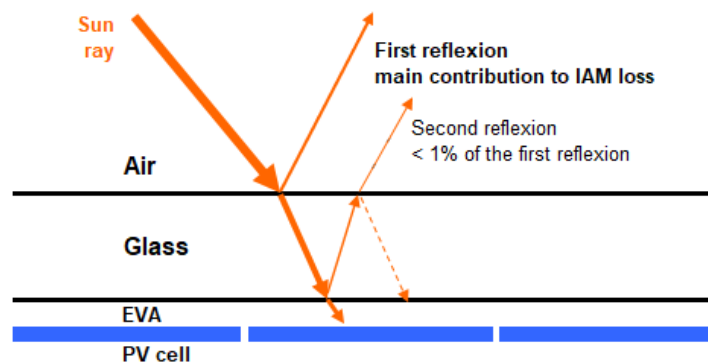
2.9.5 Efeito de sujidade

Segundo Dantas e Guerra et al (2021), sujeira é definida como um material particulado que pode ser composto desde material humano ou animal quanto de materiais têxteis e micro areias entre outros, e sua acumulação pode variar de forma significativa dependendo da geografia e de fatores climáticos. Esse acúmulo de sujeira sobre células fotovoltaicas pode gerar perda de rendimento afetando a geração energética.

2.9.6 Efeito de Reflexão (IAM)

Conforme pvsyst (2020), O efeito de incidência (o termo designado é IAM, para "Modificador de Ângulo de Incidência") corresponde à diminuição da irradiância que realmente atinge a superfície das células fotovoltaicas, em relação à irradiância sob incidência normal. Essa diminuição se deve principalmente aos reflexos na cobertura de vidro, que aumentam com o ângulo de incidência mostrado na Fig. 14.

Figura 14 -Reflexão modificador ângulo de incidência



Fonte: Pvsyst (2020).

2.9.7 Efeito de Mismatch (Fabricação)

De acordo com Onesol (2023), é a diferença de potência gerada pelos módulos solares do mesmo modelo ou do mesmo lote de fabricação resultante do processo de fabricação. E quando associados podem gerar perdas no sistema.

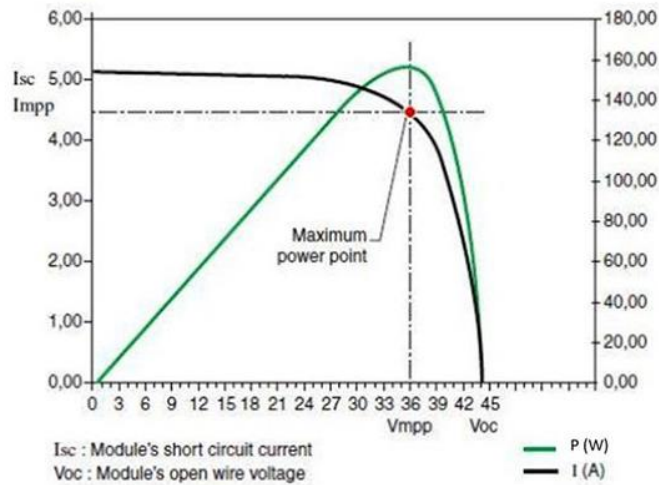
2.9.8 Perdas de desvio das condições STC dos Módulos Fotovoltaicos

Segundo Enphase (2022), é importante compreender que as classificações de potência dos módulos em suas folhas de dados são baseadas na potência CC do STC. No entanto, os módulos não operam no STC o tempo todo porque STC significa Standard Test Conditions. Em mais simples termos, STC significa condições de laboratório e são especificados por Irradiância a 1000W/m^2 , Temperatura a 25°C e Pressão a 1 atmosfera. Qualquer desvio das condições STC significa desvio do pico de potência DC STC.

2.10 INVERSORES PARA CONEXÃO A REDE ELÉTRICA

Os inversores para a conexão de sistemas fotovoltaicos a rede elétrica assim como os utilizados em sistemas autônomos tem o objetivo de converter de converter a corrente contínua CC advinda dos módulos em corrente alternada AC. O recurso disponível MPPT nos inversores para conexão à rede elétrica possibilita realizar a otimização da energia gerada pelos módulos solares. Segundo Blue Sol (2019) o seguidor de máxima potência é um circuito eletrônico intrínseco ao inversor que ajusta continuamente ao ponto de máxima potência do painel fotovoltaico que está conectado realiza isso alterando sua resistência de entrada de acordo com os valores de tensão e corrente gerados pelos módulos mostrados na Fig. 15.

Figura 15 –Rastreamento ponto de máxima potência



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

2.11 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS INVERSOR ON GRID

Algumas características elétricas nos inversores são fundamentais para realização de projetos e análises em sistemas fotovoltaicos. Os fabricantes disponibilizam esses parâmetros elétricos como: faixa útil de tensão contínua na entrada, tensão contínua máxima na entrada, número máximo de strings na entrada, número de entrada independente com MPPT todos esses parâmetros são fundamentais para o projetista. Na Fig. 16, abaixo é mostrado o datasheet do fabricante GOODWE.

Figura 16 – Datasheet dos inversores GOODWE.

LV MT Series Datasheet


GOODWE

Technical Data	GW30KLV-MT	GW35KLV-MT	GW50KLV-MT
DC Input Data			
Max. PV Power (W)	54000	63000	90000
Max. DC Input Voltage (V)	800	800	800
MPPT Range (V)	200~650	200~650	200~650
Starting Voltage (V)	200	200	200
Min. Feed-in Voltage (V)	210	210	210
Nominal DC Input Voltage (V)	370	370	370
Max. Input Current per MPPT (A)	33/33/22/22	33	44
Max. Short Circuit Current per MPPT (A)	41.5/41.5/27.5/27.5	41.5	55
No. of MPPT Trackers	4	4	4
No. of Input Strings per Tracker	3/3/2/2	3	4
AC Output Data			
Nominal Output Power (W)	30000	36000	50000
	28800@208VAC	34500@208VAC	47300@208VAC
Max. AC Active Power (cosφ=1)	30000@220VAC	36000@220VAC	50000@220VAC
	33000@240VAC	39900@240VAC	55000@240VAC
Max. Output Apparent Power (VA)	33000	39900	55000
Nominal Output Voltage (V)	150-300	150-300	150-300
Nominal Output Frequency (Hz)	50/60	50/60	50/60
Max. Output Current (A)	80	96	133
Output Power Factor	~1 (Adjustable from 0.8 leading to 0.8 lagging)		
Output THDI (@Nominal Output)	<3%	<3%	<3%
Efficiency			
Max. Efficiency	98.7%	98.8%	98.7%
European Efficiency	98.3%	98.5%	98.3%

Fonte: GOODWE (2019).

2.11.1 Faixa de operação de tensão contínua na entrada do inversor

Conforme Villalva e Gazoli (2012) é a faixa de operação é o intervalo de valores de tensão no qual o inversor pode operar. É também denominada a faixa de operação de MPPT (rastreamento de ponto de máxima potência) do inversor no qual ele pode maximizar a máxima produção de energia gerada pelas strings. Especificação desse parâmetro como exemplo é mostrado no datasheet do fabricante GOODWE a faixa no modelo GW50KLV-MT está em 200V ~ 650V na Fig 16 acima.

2.11.2 Tensão contínua máxima na entrada do inversor

É a tensão máxima de entrada suportada pelo inversor e essa máxima tensão possui correlação com tensão de circuito aberto Voc., isso limita a quantidade de módulos conectados em série na entrada do inversor não respeitando esse parâmetro o equipamento pode ser seriamente danificado. Especificação desse parâmetro como exemplo é mostrado no datasheet do fabricante GOODWE a faixa no modelo GW30KLV-MT é 800V na Fig. 16.

2.11.3 Número máximo de Strings na entrada do inversor

É valor máximo de conjuntos de módulos conectados em série que é admitido na entrada do inversor. Especificação desse parâmetro é mostrado no datasheet na Fig. 16 do fabricante GOODWE a faixa no modelo GW50KLV-MT número máximo de 4 strings.

2.11.4 Números máximo de entradas independentes com MPPT

Os inversores podem possuir o sistema de MPPT (rastreamento de ponto de máxima potência) isso significa que são preparados para maximizar a máxima potência gerado pelos módulos independentemente das condições que afetam o desempenho da curva característica de corrente e tensão dos módulos. Os inversores que possuem entradas independentes MPPT são capazes de otimizar de a geração de energia para vários conjuntos de módulos fotovoltaicos. Um exemplo que pode ser citado caso uma string esteja comprometida por sombreamento as outras podem operar normalmente no seu ponto de máxima potência. O manual do fabricante GOODWE modelo GW50KLV-MT esse valor é igual a 4 mostrado na Fig. 16.

2.12 PERDAS ELÉTRICAS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Segundo Navitas Solar (2022) , a norma permitem uma queda de tensão de até 3% em cabos CC e CA. Na realidade, a única forma de reduzir a perdas em CA e CC são utilizando um cabo com as secções transversais corretas. Ou seja as perdas nas linhas solares

fotovoltaicas CC nos arranjos de painéis e as perdas CA na saída dos inversores precisam ser mantidas ao mínimo. Minimizar a queda de tensão nos cabos é uma abordagem para manter essas perdas sob controle. Não há problema em ter uma queda de tensão inferior a 1% e nunca deve ultrapassar 3%.

2.13 SOFTWARE SOLARIMETRO

São software utilizados para simular configurações de sistemas fotovoltaicos autônomos ou conectados à rede elétrica para estimar sua geração de energia e sua viabilidade.

2.14 SOFTWARE SAM (NREL)

Segundo NREL (2020) , o SAM emula sistemas fotovoltaicos, desde pequenos telhados residenciais até grandes sistemas de utilidade pública Armazenamento de bateria com íon de lítio, ácido de chumbo ou baterias de fluxo para aplicações na frente ou atrás do medidor sistemas de concentração de energia solar para geração de energia elétrica, incluindo calha parabólica, torre de energia e Fresnel linear Calor de processo industrial de sistemas Fresnel lineares e parabólicos Energia eólica, de turbinas individuais a grandes parques eólicos e sistemas de ondas e marés de energia marinha aquecimento solar de água e células de combustível Geração de energia geotérmica Combustão de biomassa para geração de energia Sistemas fotovoltaicos de alta concentração . Para modelo fotovoltaico detalhado calcula a saída elétrica de um sistema fotovoltaico conectado à rede usando módulos separados e modelos de inversores. Requer especificações de módulo e inversor junto com informações sobre o número de módulos e inversores no sistema. Você pode fornecer suas próprias especificações de módulo e inversor a partir de uma folha de dados do fabricante ou escolher um módulo e inversor de bibliotecas. O modelo fotovoltaico detalhado estima as perdas devido ao efeito da temperatura no desempenho do módulo e possui opções para calcular o sombreamento e outras perdas no sistema. O modelo também inclui um assistente de dimensionamento do sistema para ajudá-lo a determinar o número de módulos e inversores no sistema.

2.15 SOFTWARE MONITORAMENTO SOLAR GOODWE

Segundo GOODWE (2023), GoodWe Smart Energy Management System (SEMS) é uma plataforma de monitoramento gratuita que oferece operação confiável de usinas fotovoltaicas com rendimento máximo. O SEMS permite que os operadores monitorem simultaneamente uma gama diversificada de usinas fotovoltaicas em diferentes locais em tempo real e controlem as instalações. Amplo processamento de dados, gráficos personalizados e funções de alarme e manutenção garantem que operadores, gerentes de operações e gerentes de ativos possam gerenciar os sistemas de forma confortável e eficiente, garantindo rendimentos máximos.

2.16 MÉTRICAS DE PRODUÇÃO ENERGÉTICA

2.16.1 Capacity Factor (Fator de Capacidade)

Segundo Solarsena (2018), o fator de capacidade solar é a razão entre a potência real produzida por um sistema solar em um determinado período e a potência máxima possível que pode ser produzida pelo sistema. Por se tratar de uma proporção das mesmas quantidades, não tem unidade e é expressa em porcentagem. Os valores típicos do fator de capacidade solar estão entre 10% e 25%.

2.16.2 Energy Yield

De acordo com Sandia National Laboratories (2023), o rendimento anual ou rendimento energético é simplesmente o número de quilowatts-hora produzidos em um ano dividido pela classificação STC DC do sistema fotovoltaico. Isso mudará de ano para ano, dependendo do clima. É expresso em unidades de kWh/kWp, onde kWp é “kW pico” e é a classificação DC STC.

3 METODOLOGIA

ETAPA 1 – Foi realizado um levantamento bibliográfico para o embasamento teórico sobre sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (*On-Grid*) e o componentes constituintes do sistema como módulos fotovoltaicos inversores solares e variáveis climáticas com temperatura e umidade. Além de um estudo sobre o software solar.

ETAPA 2 – Foi analisado o local da instalação dos geradores dos 9 geradores fotovoltaicos sobre a cobertura, obtida as coordenadas geográfica do local para cálculo de nível de irradiância e temperatura de exposição das células solares via software, e em seguida de posse do material descritivo e dos datasheets do módulo e dos inversores utilizado no projeto disponibilizado pela empresa responsável pela instalação dos geradores foram extraídos métricas para realização dos cálculos computacionais, posteriormente para mensurar o sombreamento foi emulado a inclinação dos módulos e um cenário semelhante ao IFAM-CMDI via software SAM .

ETAPA 3 –. Essa etapa consiste na simulação computacional, os parâmetros foram obtidos dos manuais disponíveis e da configuração de cada gerador fotovoltaico.

ETAPA 4 –. Nesta etapa foi gerada através das simulações parâmetros elétricos fundamentais e as perdas resultante de cada arranjo fotovoltaico para o software SAM realizar o prognóstico energético mensal durante 12 meses e posteriormente comparar como valores obtidos *in loco* via software de monitoramento dos inversores.

3.1 DIMENSIONAMENTO DO SFCR (CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO)

Inicialmente foi verificado os locais onde foram instalados os 09 geradores fotovoltaicos pela empresa contratada. O local onde foram realizadas as instalações é sobre a cobertura da edificação do campus do IFAM (CMDI) Fig. 17. O Campus Manaus Distrito Industrial pertence ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas localizado no Município de Manaus estado do Amazonas.

Figura 17 - Estudo do Local onde instalado os painéis solares



Fonte: GOODWE (2023).

3.1.2 Simulação Computacional

Para a obtenção dos resultados quantitativos foi utilizado o software SAM (NREL). Inicialmente foi inserido ao software as coordenadas geográficas do local de estudo com a latitude -3.14° e longitude de -59.97° , para a realização do cálculo de irradiância local com média anual de $4,90 \text{ KWh/m}^2/\text{dia}$ e para a irradiância difusa horizontal $2,25 \text{ KWh/m}^2/\text{dia}$ e para a irradiância direta normal $3.75 \text{ KWh/m}^2/\text{dia}$. Outro fator relevante como de temperatura

média anual com 26°C e velocidade média do vento 0,6 m/s. Conforme mostrado na figura 18 abaixo.

Figura 18 – Dados climáticos e coordenadas geográfica local

Weather Data Information

The following information describes the data in the highlighted weather file from the Solar Resource library above. This is the file SAM will use when you click Simulate.

Weather file:

-Header Data from Weather File-

Latitude	-3.14 DD	Location	7601586
Longitude	-59.97 DD	Data Source	NSRDB
Time zone	GMT -4	For NSRDB data, the latitude and longitude shown here from the weather file header are the coordinates of the NSRDB grid cell and may be different from the values in the file name, which are the coordinates of the requested location.	
Elevation	50 m		
Time step	60 minutes		

-Annual Averages Calculated from Weather File Data-

Global horizontal	4.90 kWh/m ² /day	-Optional Data-
Direct normal (beam)	3.75 kWh/m ² /day	Maximum snow depth NaN cm
Diffuse horizontal	2.25 kWh/m ² /day	Annual albedo 0.172
Average temperature	26.5 °C	
Average wind speed	0.6 m/s	

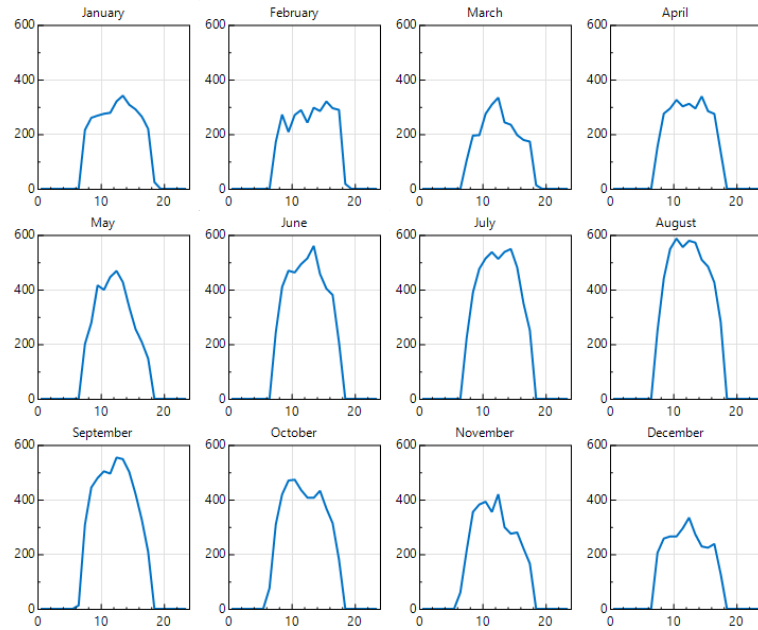
*NaN indicates missing data.

Fonte: SAM (2023).

3.1.3 Simulação Computacional de irradiância

Após o processamento é gerado a média mensal do nível de irradiância a cada mês durante o ano de janeiro até dezembro mostrada através de gráficos. Os gráficos abaixo são compostos nas coordenadas verticais das horas do dia em (hrs), e na vertical o nível de irradiância em (W/m²). Conforme mostrado na Fig. 19 abaixo.

Figura 19– Dados de irradiância mensal

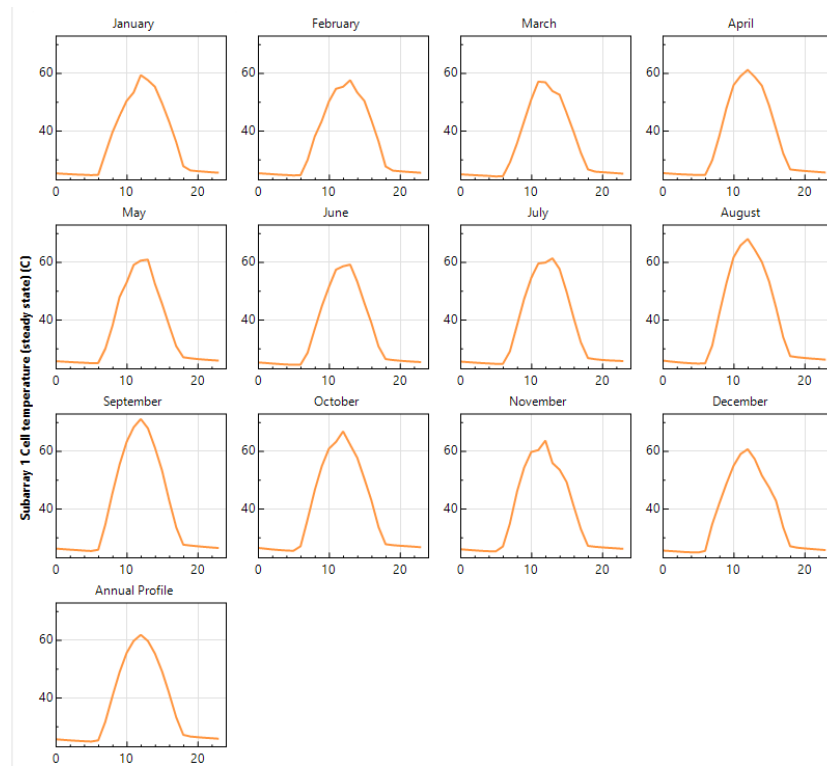


Fonte: SAM (2023).

3.1.4 Cálculo de Temperatura média sobre as células solares

Em seguida o software calcula a temperatura média mensal que a célula solar é exposta durante o ano de janeiro a dezembro. Os gráficos abaixo apresentam os valores de temperatura em graus celsius (C°) no seu eixo vertical e horas do dia do mês equivalente. Mostrado na Fig. 20 abaixo.

Figura 20 – Temperatura mensal que é expostas as células solares durante o ano.

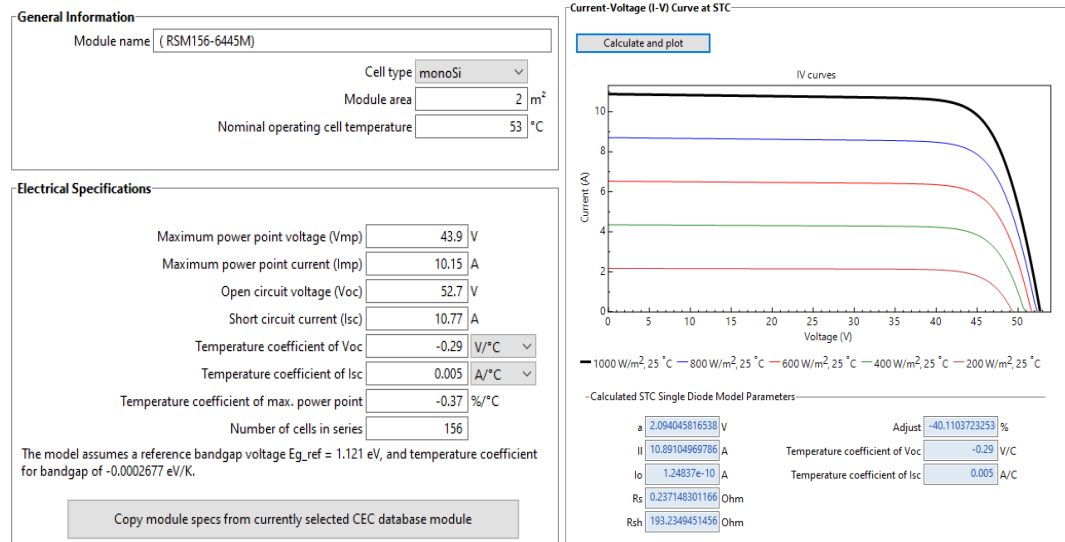


Fonte: SAM (2023).

3.1.5 Obtenção dos parâmetros elétricos do módulo Fotovoltaico e inversores utilizados nos geradores Fotovoltaico via manual descritivo para realização da Simulação Computacional

De posse do modelo do módulo fotovoltaico (RSM156-6445M) utilizado nos 09 geradores fotovoltaicos do IFAM –CMDI. Foi inserido os dados elétricos no software para a realização dos cálculos baseando-se na temperatura média que a célula solar é exposta Fig. 21.

Figura 21 – Dados elétricos inseridos do módulo fotovoltaico no software



Fonte: SAM (2023).

Foram utilizados três modelos diferentes de inversores do fabricante GOODWE nos geradores fotovoltaicos que são o GW30KLV-MT o GW35KLV-MT e GW50KLV-MT. O gerador 01 (GW50KLV-MT), gerador 02 (GW30KLV-MT), gerador 03 (GW50KLV-MT), gerador 04 (GW35KLV-MT), gerador 05 (GW50KLV-MT), gerador 06 (GW50KLV-MT), gerador 07 (GW50KLV-MT), gerador 08 (GW35KLV-MT), gerador 09 (GW30KLV-MT). Para cada gerador foi adicionado os parâmetros elétricos em consonância com seu inversor ao software que é mostrado nas Fig. 22 Fig. 23 e Fig. 24.

Figura 22 – Dados elétricos inseridos do inversor de 50KW

Power Ratings		
Maximum AC output power	50000	Wac
☒ Weighted efficiency	98.3	
☐ Manufacturer efficiency	96	
Maximum DC input power	50864.700	Wdc

You can specify either a weighted or nominal efficiency. The weighted efficiency can be either CEC or European. The manufacturer efficiency can be either peak or nominal. See Help for details.

Operating Ranges		
Nominal AC voltage	300	Vac
Maximum DC voltage	800	Vdc
Maximum DC current	44	Adc
Minimum MPPT DC voltage	200	Vdc
Nominal DC voltage	370	Vdc
Maximum MPPT DC voltage	650	Vdc
Number of MPPT inputs	3	

Fonte: SAM (2023).

Figura 23 – Dados elétricos inseridos do inversor de 36 KW

Power Ratings		
Maximum AC output power	36000	Wac
☒ Weighted efficiency	98.5	
☐ Manufacturer efficiency	96	
Maximum DC input power	36548.223	Wdc

You can specify either a weighted or nominal efficiency. The weighted efficiency can be either CEC or European. The manufacturer efficiency can be either peak or nominal. See Help for details.

Operating Ranges		
Nominal AC voltage	300	Vac
Maximum DC voltage	800	Vdc
Maximum DC current	33	Adc
Minimum MPPT DC voltage	200	Vdc
Nominal DC voltage	370	Vdc
Maximum MPPT DC voltage	650	Vdc
Number of MPPT inputs	4	

Fonte: SAM (2023).

Figura 24 – Dados elétricos inseridos do inversor de 30 KW

Power Ratings		You can specify either a weighted or nominal efficiency. The weighted efficiency can be either CEC or European. The manufacturer efficiency can be either peak or nominal. See Help for details.	
Maximum AC output power	30000 Wac		
☒ Weighted efficiency	98.3		
☐ Manufacturer efficiency	96		
Maximum DC input power	30518.820 Wdc		
Operating Ranges			
Nominal AC voltage	300 Vac	Minimum MPPT DC voltage	200 Vdc
Maximum DC voltage	800 Vdc	Nominal DC voltage	370 Vdc
Maximum DC current	33 Adc	Maximum MPPT DC voltage	650 Vdc
		Number of MPPT inputs	3

Fonte: SAM (2023).

3.1.6 Inclinação dos módulos Fotovoltaicos e simulação de vegetação para o cálculo computacional.

A inclinação dos módulos foi baseada na latitude geográfica local de 3° e mais 7° totalizando 10° e inserida ao software, assim é reduzindo o acúmulo de resíduos sobre os módulos conforme solicitado pelos fabricantes. Conforme na Fig. 25

Figura 25 – Inclinação dos módulos solares

Azimuth
N = 0
W 270
E 90
S 180

Tilt
90° Vert.
Horiz. 0°

☒ Fixed
☐ 1 Axis
☐ 2 Axis
☐ Azimuth Axis
☐ Seasonal Tilt

☒ Fixed
☐ 1 Axis
☐ 2 Axis
☐ Azimuth Axis
☐ Seasonal Tilt

☒ Fixed
☐ 1 Axis
☐ 2 Axis
☐ Azimuth Axis
☐ Seasonal Tilt

☐ Tilt=latitude

☐ Tilt=latitude

☐ Tilt=latitude

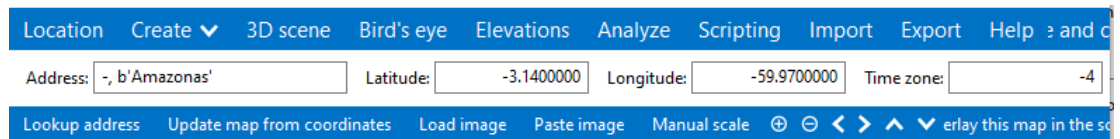
Tilt (deg)

Fonte: SAM (2023).

Com base na latitude e longitude local e simulando uma situação de vegetação em torno dos geradores semelhante ao ambiente do IFAM-CMDI, foi possível o software simular

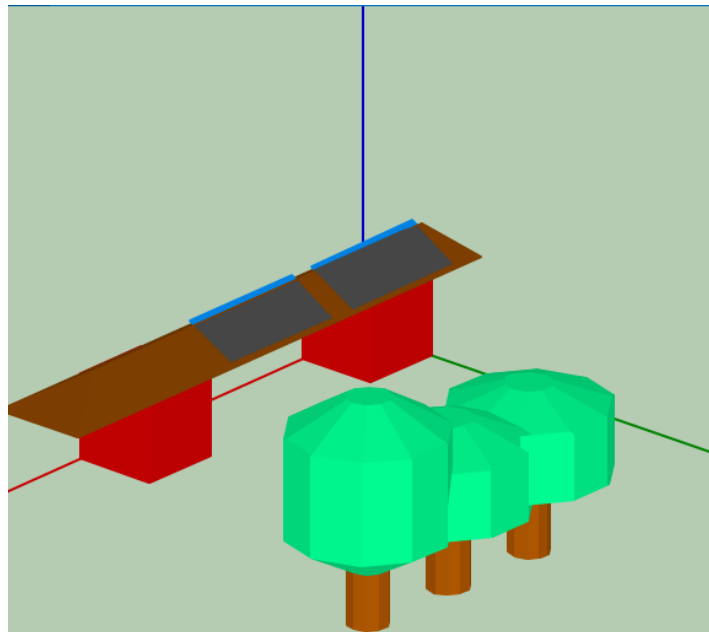
a intensidade de sombreamento sobre um módulo solar para futuro cálculos de perdas geradas por sombreamento, mostrado nas Fig. 26 e 27.

Figura 26 – Dados da localidade para simulação computacional



Fonte: SAM (2023).

Figura 27 – Simulação via software do local de instalação dos módulos fotovoltaicos e da vegetação



Fonte: SAM (2023).

3.1.7 Obtenção das configurações dos arranjos dos 9 geradores Fotovoltaicos

Através do manual descritivo técnico utilizado pela empresa foi extraído as configurações dos arranjos utilizadas no projeto para cada inversor solar conforme, mostrado na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Configuração dos arranjos dos 9 geradores fotovoltaicos.

LOCAIS	CONFIGURAÇÃO DOS ARRANJOS AOS INVERSORES	GERADOR 06 (BLOCO C)	ARRANJO 01 COM 3 STRING 01 =13 MÓDULOS ARRANJO 02 COM 3 STRING 02 =12 MÓDULOS ARRANJO 03 COM 4 STRING 03 = 13 MÓDULOS
GERADOR 01 (BLOCO A)	ARRANJO 01 COM 4 STRING 01 =12 MÓDULOS ARRANJO 02 COM 4 STRING 02 =12 MÓDULOS ARRANJO 03 COM 4 STRING 03 = 9 MÓDULOS	GERADOR 07 (BLOCO C)	ARRANJO 01 COM 4 STRING 01 =13 MÓDULOS ARRANJO 02 COM 3 STRING 02 =12 MÓDULOS ARRANJO 03 COM 4 STRING 03 = 13 MÓDULOS
GERADOR 02 (BLOCO B)	ARRANJO 01 COM 3 STRING 01 =11 MÓDULOS ARRANJO 02 COM 3 STRING 02 =11 MÓDULOS	GERADOR 08 (BLOCO CDI)	ARRANJO 01 COM 3 STRING 01 =10 MÓDULOS ARRANJO 02 COM 3 STRING 02 =10 MÓDULOS ARRANJO 03 COM 3 STRING 03 = 10 MÓDULOS ARRANJO 04 COM 1 STRING 04 = 10 MÓDULOS
GERADOR 03 (BLOCO B)	ARRANJO 01 COM 3 STRING 01 =11 MÓDULOS ARRANJO 02 COM 3 STRING 02 =11 MÓDULOS ARRANJO 03 COM 1 STRING 03 = 11 MÓDULOS ARRANJO 04 COM 1 STRING 04 = 12 MÓDULOS	GERADOR 09 (BLOCO CDI)	ARRANJO 01 COM 3 STRING 01 =10 MÓDULOS ARRANJO 02 COM 3 STRING 02 =10 MÓDULOS ARRANJO 03 COM 2 STRING 03 = 12 MÓDULOS
GERADOR 04 (BLOCO CTHM)	ARRANJO 01 COM 3 STRING 01 =12 MÓDULOS ARRANJO 02 COM 2 STRING 02 =10 MÓDULOS ARRANJO 03 COM 3 STRING 03 = 12 MÓDULOS		
GERADOR 05 (BLOCO C)	ARRANJO 01 COM 3 STRING 01 =13 MÓDULOS ARRANJO 02 COM 3 STRING 02 =12 MÓDULOS ARRANJO 03 COM 4 STRING 03 = 13 MÓDULOS		

Fonte: Autor (2023).

Conforme as configurações dos sistemas fotovoltaicos instalados acima foram inseridas no software solar o quantitativo de arranjos e módulos por strings para a realização dos cálculos computacionais. Conforme as seqüências de figuras abaixo da Fig. 28 até 36.

Gerador 01:

Figura 28 – Dados das configurações elétricas do gerador 01 entradas do inversor.

-Electrical Configuration-	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	12	12	9	
Strings in parallel in subarray	4	4	4	

Fonte: SAM (2023).

Gerador 02:

Figura 29 – Dados das configurações elétricas do gerador 02 entradas do inversor.

-Electrical Configuration-	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☐ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	11	11		
Strings in parallel in subarray	3	3		

Fonte: SAM (2023).

Gerador 03:

Figura 30 – Dados das configurações elétricas do gerador 03 entradas do inversor.

-Electrical Configuration-	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☒ Enable
Modules per string in subarray	11	11	11	12
Strings in parallel in subarray	3	3	1	1

Fonte: SAM (2023).

Gerador 04:

Figura 31 – Dados das configurações elétricas do gerador 04 entradas do inversor.

-Electrical Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	12	10	12	
Strings in parallel in subarray	3	2	3	

Fonte: SAM (2023).

Gerador 05:

Figura 32 – Dados das configurações elétricas do gerador 05 entradas do inversor.

-Electrical Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	13	12	13	
Strings in parallel in subarray	3	3	4	

Fonte: SAM (2023).

Gerador 06:

Figura 33 – Dados das configurações elétricas do gerador 06 entradas do inversor.

-Electrical Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	13	12	13	
Strings in parallel in subarray	3	3	4	

Fonte: SAM (2023).

Gerador 07:

Figura 34 – Dados das configurações elétricas do gerador 07 entradas do inversor.

Electrical Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	13	12	13	
Strings in parallel in subarray	4	3	4	

Fonte: SAM (2023).

Gerador 08:

Figura 35 – Dados das configurações elétricas do gerador 08 entradas do inversor.

Electrical Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☒ Enable
Modules per string in subarray	10	10	10	10
Strings in parallel in subarray	3	3	3	1

Fonte: SAM (2023).

Gerador 09:

Figura 36 – Dados das configurações elétricas do gerador 09 entradas do inversor.

Electrical Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	10	10	12	
Strings in parallel in subarray	3	3	2	

Fonte: SAM (2019)

3.1.8 Simulação dos parâmetros elétricos gerados para cálculo energético e perdas nos sistemas.

Após realizar as configurações devidas para os geradores fotovoltaicos o software emula os valores dos números de inversores, números de módulos, o número de strings, área necessária para a instalação assim com as tensões de circuito aberto (V_{oc}) e a tensão de máxima potência (V_{mpp}) de cada arranjo para cada um dos 9 sistemas fotovoltaicos mostrado respectivamente mostrado nas sequências abaixo das Fig. 37 a 45, valores importantes para gerar o prognóstico energético.

Gerador 01:

Figura 37 – Valores calculados do arranjo elétricos e área de instalação gerador 01.

AC Sizing

Number of inverters

DC to AC ratio

Size the system using modules per string and strings in parallel inputs below.

☐ Estimate Subarray 1 configuration

Sizing Summary

Nameplate DC capacity kWdc

Total AC capacity kWac

Total inverter DC capacity kWdc

Number of modules

Number of strings

Total module area m²

DC Sizing and Configuration

To model a system with one array, specify properties for Subarray 1 and disable Subarrays 2, 3, and 4. To model a system with up to four subarrays connected in parallel to a single bank of inverters, for each subarray, check Enable and specify a number of strings and other properties.

	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Electrical Configuration				
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	12	12	9	
Strings in parallel in subarray	4	4	4	
Number of modules in subarray	48	48	36	
String Voc at reference conditions (V)	632.4	632.4	474.3	
String Vmp at reference conditions (V)	526.8	526.8	395.1	
Tracking & Orientation				
Inverter MPPT input for subarray	1	2	3	

Fonte: SAM (2023).

Gerador 02

Figura 38 – Valores calculados do arranjo elétricos e área de instalação gerador 02.

AC Sizing		Sizing Summary	
Number of inverters	1	Nameplate DC capacity	29.409 kWdc
DC to AC ratio	0.82	Total AC capacity	36.000 kWac
Size the system using modules per string and strings in parallel inputs below.		Total inverter DC capacity	36.623 kWdc
☐ Estimate Subarray 1 configuration		Number of modules	66
		Number of strings	6
		Total module area	133.254 m ²

DC Sizing and Configuration				
To model a system with one array, specify properties for Subarray 1 and disable Subarrays 2, 3, and 4. To model a system with up to four subarrays connected in parallel to a single bank of inverters, for each subarray, check Enable and specify a number of strings and other properties.				
Electrical Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☐ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	11	11		
Strings in parallel in subarray	3	3		
Number of modules in subarray	33	33		
String Voc at reference conditions (V)	579.7	579.7		
String Vmp at reference conditions (V)	482.9	482.9		
Tracking & Orientation				
Inverter MPPT input for subarray	1	2		

Fonte: SAM (2019).

Gerador 03

Figura 39 – Valores calculados do arranjo elétricos e área de instalação gerador 03.

AC Sizing		Sizing Summary	
Number of inverters	1	Nameplate DC capacity	39.657 kWdc
DC to AC ratio	0.79	Total AC capacity	50.000 kWac
Size the system using modules per string and strings in parallel inputs below.		Total inverter DC capacity	50.865 kWdc
☐ Estimate Subarray 1 configuration		Number of modules	89
		Number of strings	8
		Total module area	186.170 m ²

DC Sizing and Configuration				
To model a system with one array, specify properties for Subarray 1 and disable Subarrays 2, 3, and 4. To model a system with up to four subarrays connected in parallel to a single bank of inverters, for each subarray, check Enable and specify a number of strings and other properties.				
Electrical Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☒ Enable
Modules per string in subarray	11	11	11	12
Strings in parallel in subarray	3	3	1	1
Number of modules in subarray	33	33	11	12
String Voc at reference conditions (V)	579.7	579.7	579.7	632.4
String Vmp at reference conditions (V)	482.9	482.9	482.9	526.8
Tracking & Orientation				
Inverter MPPT input for subarray	1	2	3	4

Fonte: SAM (2019).

Gerador 04

Figura 40 – Valores calculados do arranjo elétricos e área de instalação gerador 04.

AC Sizing		Sizing Summary	
Number of inverters	1	Nameplate DC capacity	40.994 kWdc
DC to AC ratio	1.14	Total AC capacity	36.000 kWac
Size the system using modules per string and strings in parallel inputs below.		Total inverter DC capacity	36.548 kWdc
☐ Estimate Subarray 1 configuration		Number of modules	92
		Number of strings	8
		Total module area	184.000 m ²

DC Sizing and Configuration				
To model a system with one array, specify properties for Subarray 1 and disable Subarrays 2, 3, and 4. To model a system with up to four subarrays connected in parallel to a single bank of inverters, for each subarray, check Enable and specify a number of strings and other properties.				
Electrical Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	12	10	12	
Strings in parallel in subarray	3	2	3	
Number of modules in subarray	36	20	36	
String Voc at reference conditions (V)	632.4	527.0	632.4	
String Vmp at reference conditions (V)	526.8	439.0	526.8	
Tracking & Orientation				
Inverter MPPT input for subarray	1	2	3	

Fonte: SAM (2023).

Gerador 05:

Figura 41 – Valores calculados do arranjo elétricos e área de instalação gerador 05.

AC Sizing		Sizing Summary	
Number of inverters	1	Nameplate DC capacity	56.589 kWdc
DC to AC ratio	1.13	Total AC capacity	50.000 kWac
Size the system using modules per string and strings in parallel inputs below.		Total inverter DC capacity	50.659 kWdc
☐ Estimate Subarray 1 configuration		Number of modules	127
		Number of strings	10
		Total module area	254.000 m ²

DC Sizing and Configuration				
To model a system with one array, specify properties for Subarray 1 and disable Subarrays 2, 3, and 4. To model a system with up to four subarrays connected in parallel to a single bank of inverters, for each subarray, check Enable and specify a number of strings and other properties.				
Electrical Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	13	12	13	
Strings in parallel in subarray	3	3	4	
Number of modules in subarray	39	36	52	
String Voc at reference conditions (V)	685.1	632.4	685.1	
String Vmp at reference conditions (V)	570.7	526.8	570.7	
Tracking & Orientation				
Inverter MPPT input for subarray	1	2	3	

Fonte: SAM (2023).

Gerador 06:

Figura 42 – Valores calculados do arranjo elétricos e área de instalação gerador 06.

AC Sizing		Sizing Summary	
Number of inverters	1	Nameplate DC capacity	56.589 kWdc
DC to AC ratio	1.13	Total AC capacity	50.000 kWac
Size the system using modules per string and strings in parallel inputs below.		Total inverter DC capacity	50.659 kWdc
☐ Estimate Subarray 1 configuration		Number of modules	127
		Number of strings	10
		Total module area	254.000 m ²

DC Sizing and Configuration				
To model a system with one array, specify properties for Subarray 1 and disable Subarrays 2, 3, and 4. To model a system with up to four subarrays connected in parallel to a single bank of inverters, for each subarray, check Enable and specify a number of strings and other properties.				
Electrical Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	13	12	13	
Strings in parallel in subarray	3	3	4	
Number of modules in subarray	39	36	52	
String Voc at reference conditions (V)	685.1	632.4	685.1	
String Vmp at reference conditions (V)	570.7	526.8	570.7	
Tracking & Orientation				
Inverter MPPT input for subarray	1	2	3	

Fonte: SAM (2023).

Gerador 07:

Figura 43 – Valores calculados do arranjo elétricos e área de instalação gerador 07.

AC Sizing		Sizing Summary	
Number of inverters	1	Nameplate DC capacity	62.382 kWdc
DC to AC ratio	1.25	Total AC capacity	50.000 kWac
Size the system using modules per string and strings in parallel inputs below.		Total inverter DC capacity	50.865 kWdc
☐ Estimate Subarray 1 configuration		Number of modules	140
		Number of strings	11
		Total module area	280.000 m ²

DC Sizing and Configuration				
To model a system with one array, specify properties for Subarray 1 and disable Subarrays 2, 3, and 4. To model a system with up to four subarrays connected in parallel to a single bank of inverters, for each subarray, check Enable and specify a number of strings and other properties.				
Electrical Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	13	12	13	
Strings in parallel in subarray	4	3	4	
Number of modules in subarray	52	36	52	
String Voc at reference conditions (V)	685.1	632.4	685.1	
String Vmp at reference conditions (V)	570.7	526.8	570.7	
Tracking & Orientation				
Inverter MPPT input for subarray	1	2	3	

Fonte: SAM (2023)

Gerador 08:

Figura 44 – Valores calculados do arranjo elétricos e área de instalação gerador 08.

AC Sizing		Sizing Summary	
Number of inverters	1	Nameplate DC capacity	44.559 kWdc
DC to AC ratio	1.24	Total AC capacity	36.000 kWac
Size the system using modules per string and strings in parallel inputs below.		Total inverter DC capacity	36.548 kWdc
☐ Estimate Subarray 1 configuration		Number of modules	100
		Number of strings	10
		Total module area	200.000 m ²

DC Sizing and Configuration				
To model a system with one array, specify properties for Subarray 1 and disable Subarrays 2, 3, and 4. To model a system with up to four subarrays connected in parallel to a single bank of inverters, for each subarray, check Enable and specify a number of strings and other properties.				
Electrical Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☒ Enable
Modules per string in subarray	10	10	10	10
Strings in parallel in subarray	3	3	3	1
Number of modules in subarray	30	30	30	10
String Voc at reference conditions (V)	527.0	527.0	527.0	527.0
String Vmp at reference conditions (V)	439.0	439.0	439.0	439.0
Tracking & Orientation				
Inverter MPPT input for subarray	1	2	3	4

Fonte: SAM (2019).

Gerador 09:

Figura 45 – Valores calculados do arranjo elétricos e área de instalação gerador 09.

AC Sizing

Number of inverters

DC to AC ratio

Size the system using modules per string and strings in parallel inputs below.

☐ Estimate Subarray 1 configuration

Sizing Summary

Nameplate DC capacity	37.429 kWdc	Number of modules	84
Total AC capacity	30.000 kWac	Number of strings	8
Total inverter DC capacity	30.519 kWdc	Total module area	168.000 m ²

DC Sizing and Configuration

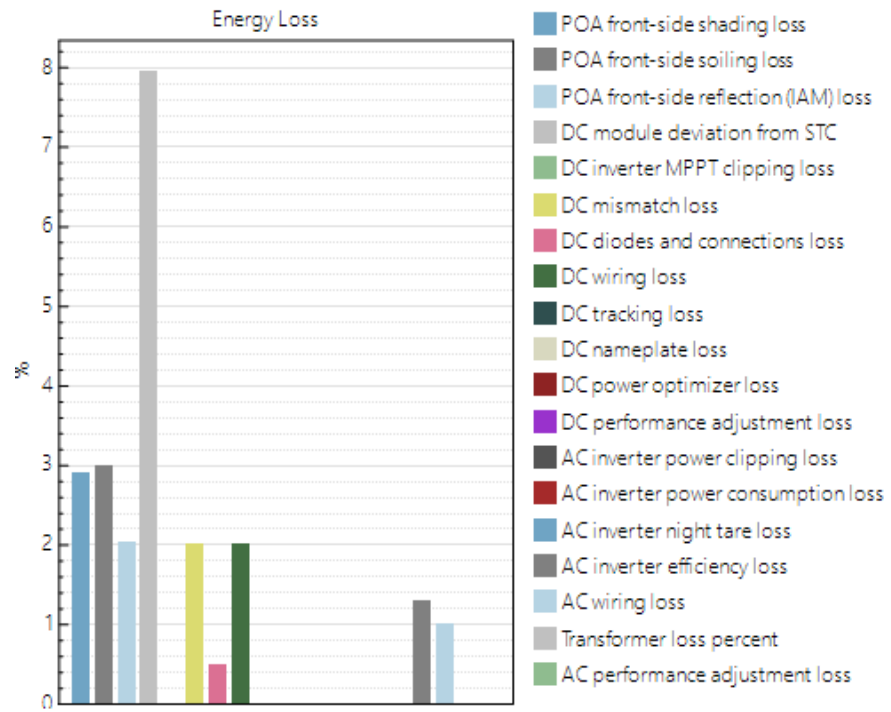
To model a system with one array, specify properties for Subarray 1 and disable Subarrays 2, 3, and 4. To model a system with up to four subarrays connected in parallel to a single bank of inverters, for each subarray, check Enable and specify a number of strings and other properties.

	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Electrical Configuration				
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	10	10	12	
Strings in parallel in subarray	3	3	2	
Number of modules in subarray	30	30	24	
String Voc at reference conditions (V)	527.0	527.0	632.4	
String Vmp at reference conditions (V)	439.0	439.0	526.8	
Tracking & Orientation				
Inverter MPPT input for subarray	1	2	3	

Fonte: SAM (2023).

Os cálculos de perdas médias são gerados para os geradores fotovoltaicos, como de incompatibilidade do módulo por sujidade pelo diodo, cabeamento AC e DC, sombreamento e inversores etc. As porcentagens de perdas geradas são mostradas no eixo vertical do gráfico da Fig. 46 abaixo.

Figura 46 – Percentagens de perdas geradas nos sistemas fotovoltaicos.



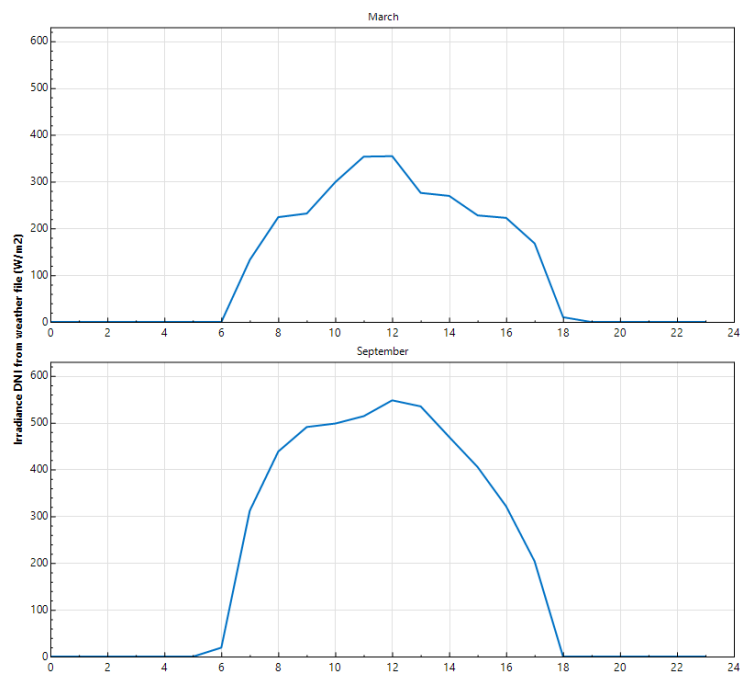
Fonte: SAM (2023).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1 NÍVEL DE IRRADIÂNCIA

O nível de irradiância possui o maior nível no mês de setembro 550W/m^2 em relação a março 330W/m^2 mostrado na Fig. 47. Esse maior nível de irradiância irá proporcionalmente uma maior geração de energia dos geradores fotovoltaicos.

Figura 47 – Comparativo do nível de irradiância entre o mês de maior índice setembro com mês de baixo índice março.

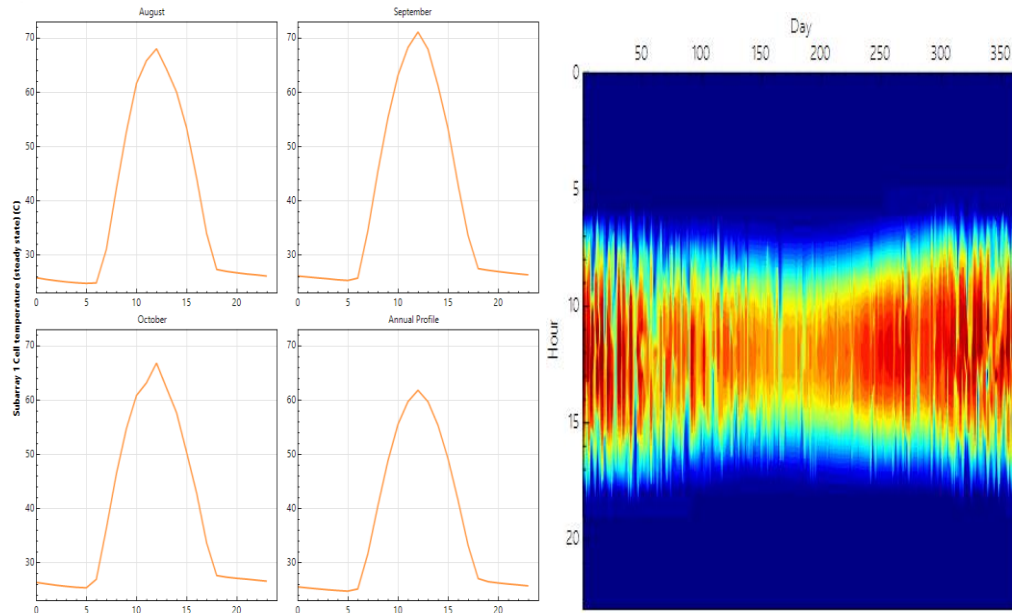


Fonte: SAM (2023).

4.1.1 Temperatura sobre as células solares.

A temperatura sobre as células solares nos geradores fotovoltaicos é mais intensa em setembro com o valor de 71°C seguido de agosto com 69 °C em outubro a temperatura apresenta o valor de 67°C. Esses valores de temperatura irão influenciar uma queda maior de tensão. A imagem termográfica mostra os dias mais quentes do ano essa faixa mais avermelhada escura nos indica que entre os dias 250 há 350 do ano são os meses de agosto setembro e outubro mostrado na Fig. 48 abaixo.

Figura 48 – Amostragem de valores de temperatura expostas as células solares e visualização termográfica dos dias mais quentes durante o ano.

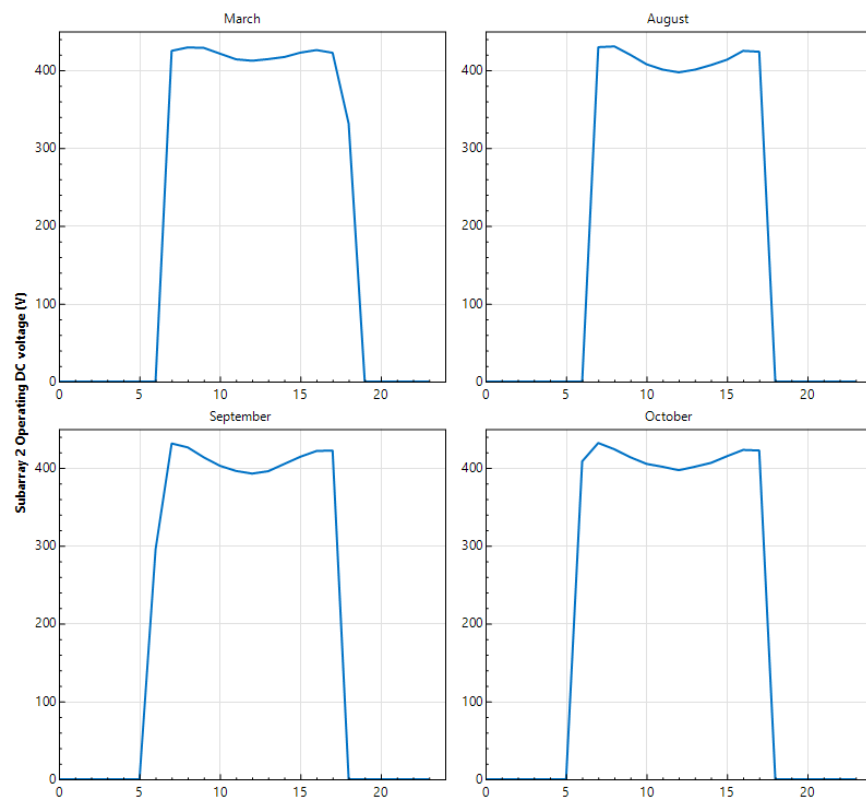


Fonte: SAM (2023).

4.1.2 Resultado gráfico do efeito de temperatura sobre a tensão de circuito aberto do módulo Fotovoltaico.

A Fig. 49, mostra o gráfico de tensão de circuito aberto se observa que há um maior afundamento na tensão nos meses de maior temperatura que são os meses de agosto setembro com valores aproximados de 400V e 399 V respectivamente e outubro com 400V em relação ao mês de menor temperatura que é março com 415V. O impacto da redução na tensão afeta diretamente na produção energética dos geradores fotovoltaicos.

Figura 49 – Comparativo de queda de tensão de circuito aberto

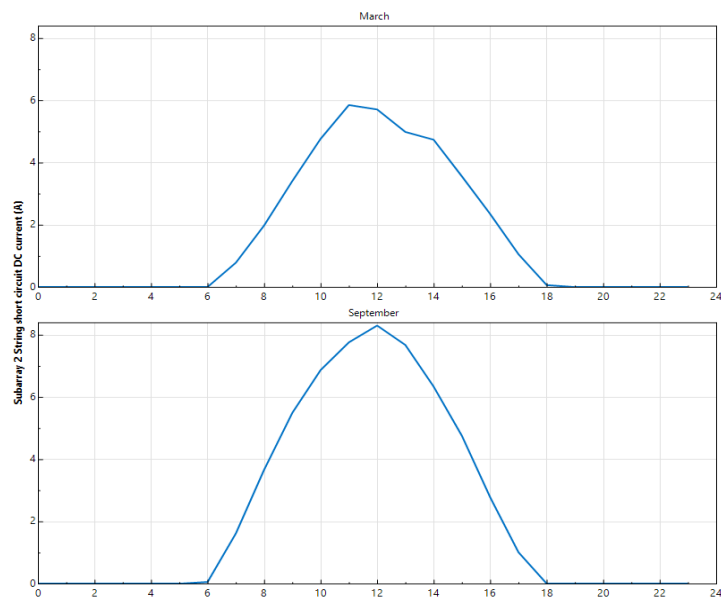


Fonte: SAM (2023).

4.1.3 Geração de corrente de curto-circuito em relação a irradiância.

Porém em relação a corrente, no mês que gera maior irradiância a corrente alcança valores maiores e relação a mês de menor irradiância. A figura 50 abaixo mostram que em março a corrente gerada apresenta o valor de 6A, porém em setembro o valor de corrente chega a 8A. Como em setembro o nível de irradiância é alto o valor da corrente gerada é superior ao mês de baixa irradiância.

Figura 50 – Comparativo geração de corrente mês de março e setembro.

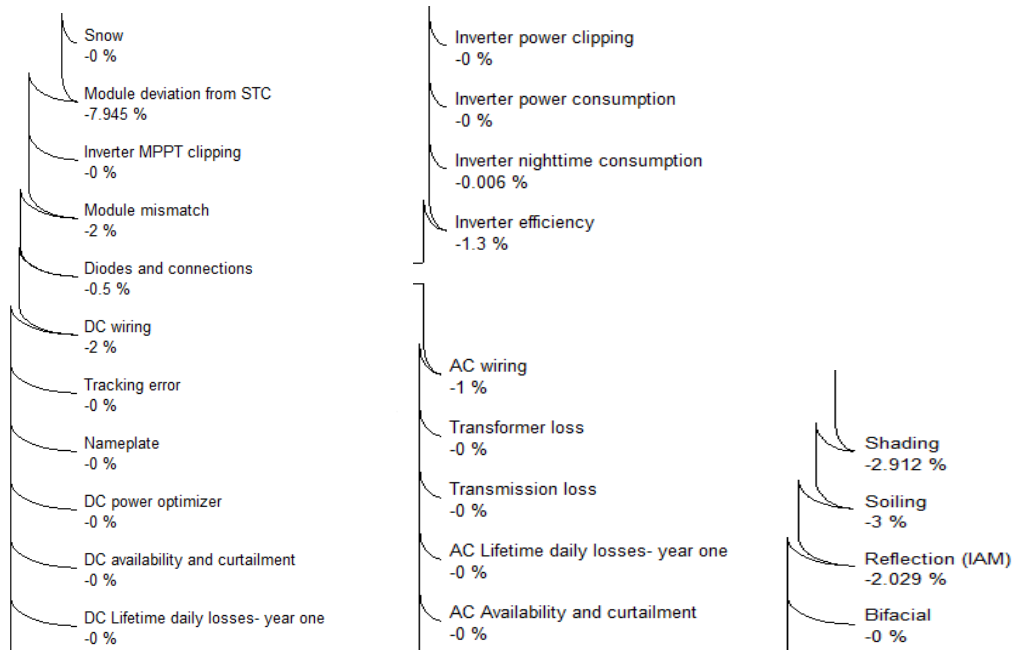


Fonte: SAM (2023).

4.1.4 Porcentagem de perdas nos Geradores Fotovoltaicos.

Algumas porcentagens de perdas geradas nos sistemas fotovoltaicos foram quantificadas após simulações. Observe que há uma perda de 3% de sujidade 2% de reflexão (IAM) e 2.9% sombreamento valor de 1,3% de eficiência do inversor e no cabeamento AC 1% e 2% no cabeamento DC e 0,5% nos diodos de by-pass e 2% perdas de mismatch e 7.9% de desvio das condições STC, gerando assim uma perda total de 22,6%.

Figura 51 – Porcentagem de perdas nos geradores fotovoltaicos.



Fonte: SAM (2023).

4.1.5 Cálculo dos parâmetros elétricos dos sistemas fotovoltaicos e resultados das simulações de geração energética mensal durante 12 meses e comparativo com os valores extraídos via software de monitoramento dos inversores.

Gerador 01:

A simulação computacional para o gerador 01 , o total de módulos para cada arranjo é calculado através do produto da quantidade de módulos por string e a quantidade de strings em paralelo .Sendo que o gerador 01 possui 03 arranjos conectados na entrada MPPT do inversor solar e o arranjo 01 possui 12 módulos por string e é composto de 4 strings em paralelo o total de módulo é de 48 gerando assim uma tensão de circuito aberto $V_{oc} = 632,4V$ e a tensão $V_{mpp} = 526.8V$.O arranjo 02 apresenta a mesma configuração elétrica do arranjo 01 com tensão de circuito aberto $V_{oc} = 632,4V$ e a tensão $V_{mpp} = 526.8V$ o arranjo 3 possui 9 módulos por strings sendo composto de 4 strings em paralelo 01 com um total de módulos de 36 gerando assim uma tensão de circuito aberto $V_{oc} = 474,3 V$ e a tensão e máxima potência de $V_{mpp} = 395,1 V$.Valores mostrados na Fig. 52.

Figura 52 – Resultado da geração de tensão de circuito aberto V_{oc} e máxima potência V_{mpp} no gerador 01.

Electrical Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	12	12	9	
Strings in parallel in subarray	4	4	4	
Number of modules in subarray	48	48	36	
String Voc at reference conditions (V)	632.4	632.4	474.3	
String Vmp at reference conditions (V)	526.8	526.8	395.1	
Tracking & Orientation				
Inverter MPPT input for subarray	1	2	3	

Fonte: SAM (2023).

A Fig 53 abaixo apresenta o resultado da capacidade de potência máxima que o gerador 01 pode gerar. Em termo de potência a capacidade máxima é de 58,817 KW com a quantidade de 132 módulos com total de 12 strings ocupando uma área 276,118 m².

Figura 53 – Resultado da potência do arranjo e do inversor e os números de módulos e a área total necessária para o gerador 01.

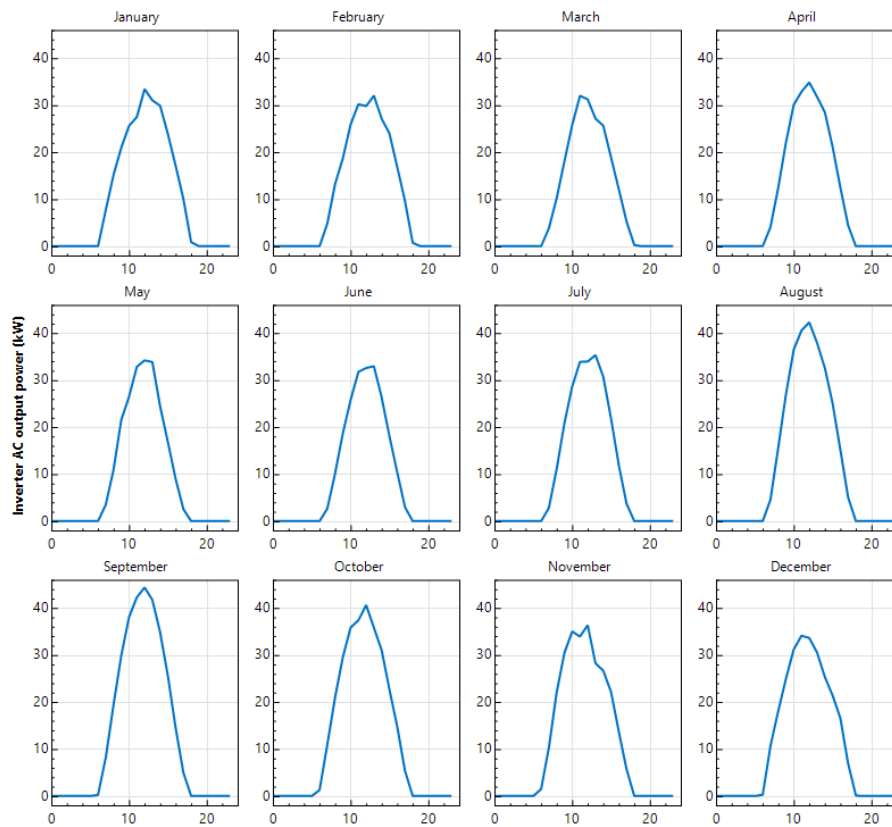
Sizing Summary

Nameplate DC capacity	58.817	kWdc	Number of modules	132
Total AC capacity	50.000	kWac	Number of strings	12
Total inverter DC capacity	50.865	kWdc	Total module area	276.118 m ²

Fonte: SAM (2023).

Abaixo na Fig. 54 é mostrada por mês durante o ano a energia gerada na saída do inversor solar do gerador 01. E de se observar que os meses de maior irradiância solar o inversor gera as maiores potências. No mês de agosto é gerado a média de 42KW em setembro 43 KW e outubro 41KW. No mês de junho e valor de potência de saída 33 KW e julho 37 KW meses que foram extraídos os resultados via software de monitoramento do inversor.

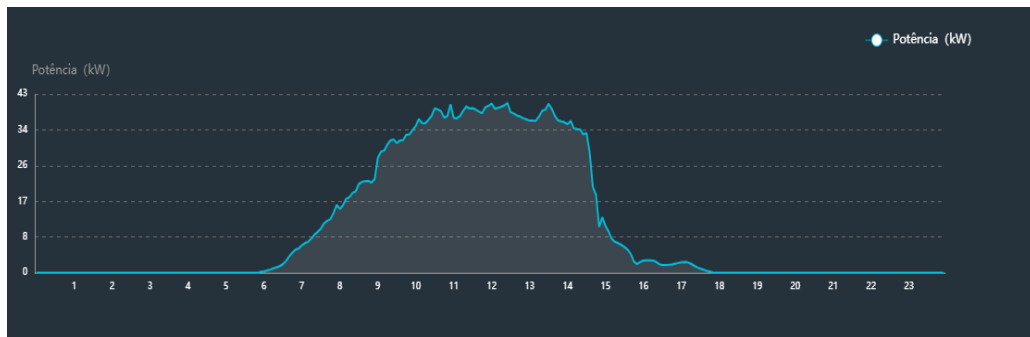
Figura 54 – Resultado da simulação a potência gerada na saída do inversor gerador 01.



Fonte: SAM (2023).

Abaixo é mostrado na Fig. 55 a curva de potência gerada na saída do inversor pelo aplicativo do fabricante Goodwe, observa-se que o valor é próximo do valor simulado acima de 35KW.

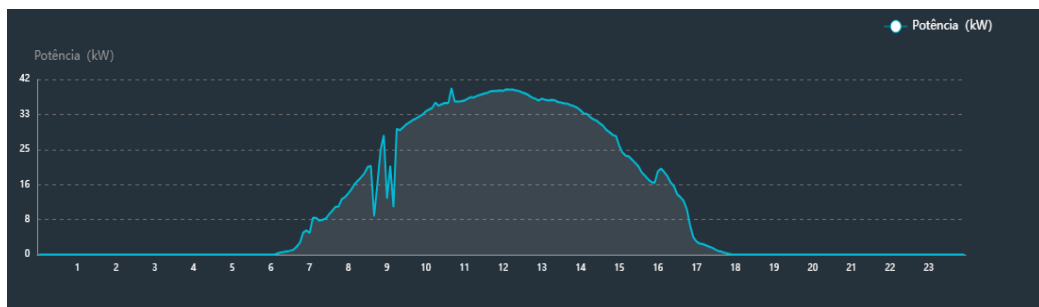
Figura 55 – Resultado extraído via software de monitoramento em *loco* na saída do inversor do gerador 01.



Fonte: Goodwe (2023).

O valor de potência da segunda amostra na saída do inversor via software de monitoramento que corresponde ao valor próximo a 38 KW mostrado na Fig. 56.

Figura 56 – Resultado extraído via software de monitoramento em *loco* na saída do inversor do gerador 01.

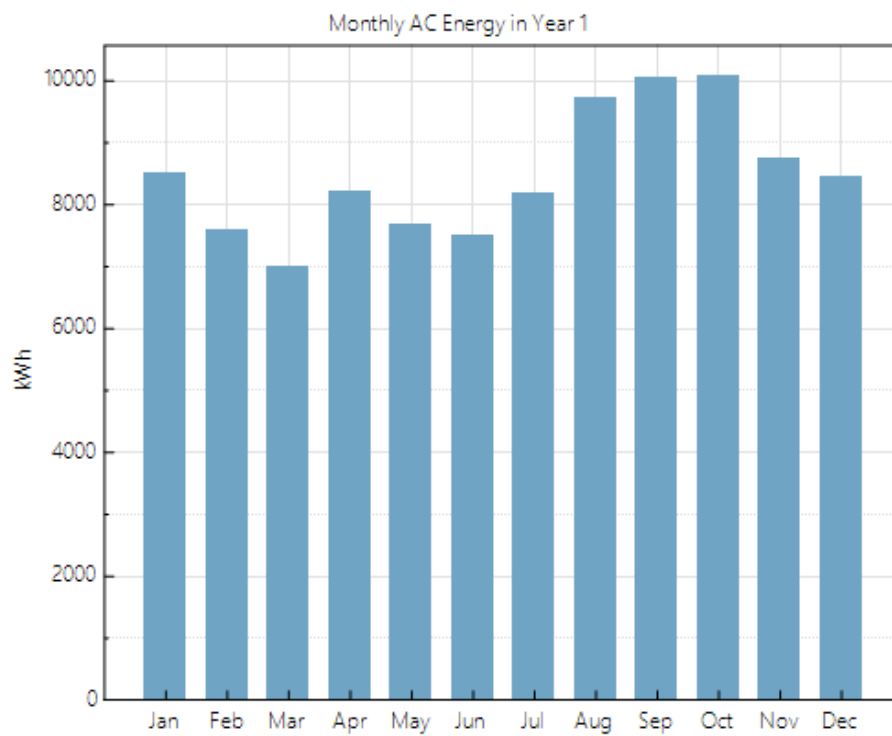


Fonte: Goodwe (2023).

Levando em consideração a perdas sobre o gerador fotovoltaico o software mensura a produção de energia mensalmente durante 12 meses. O gráfico na Fig. 57, abaixo mostra o índice de energia produzida por mês do gerador fotovoltaico e de observar que o mês de maior produção de energia é no mês de setembro como 10.000 KWh que coincide com período de maior nível de irradiância seguido de outubro 9.900 KWh e agosto 9750 KWh e o mês de junho o índice de produção de energia é de aproximadamente de 7.200 KWh e no mês de

julho valor próximo de 8.100 KWh em novembro valor de 8600 KWh e dezembro de 8.300 KWh.

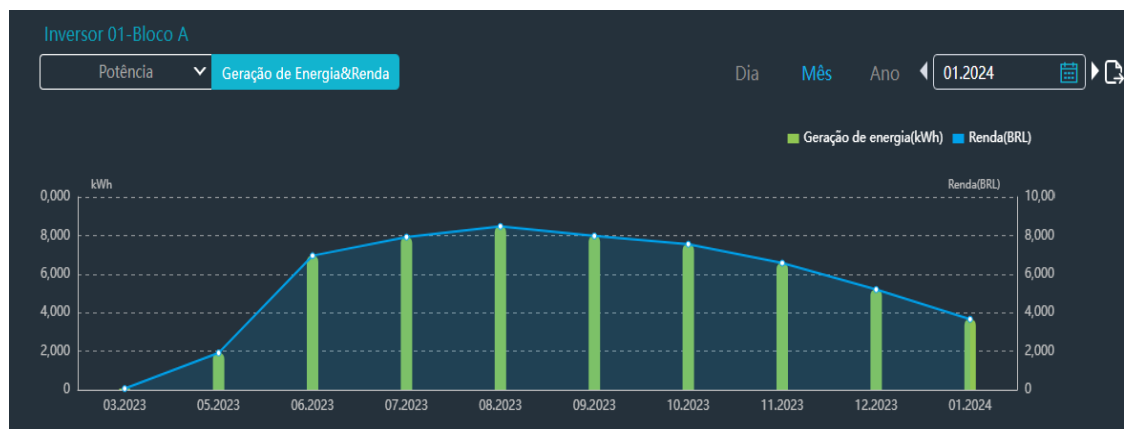
Figura 57 – Resultado da simulação da geração energética mensal durante 12 meses para o gerador 01



Fonte: SAM (2023).

Abaixo na Fig. 58 é mostrado os valores energéticos obtidos via software de monitoramento do inversor.

Figura 58 – Resultado da geração energética para os meses de junho a dezembro via software de monitoramento *em loco* no inversor gerador 01.



Fonte: Goodwe (2023).

A tabela 2 abaixo faz um comparativo entre o valor energético obtido via software de monitoramento e o simulado com sua respectiva porcentagem de erro. E de se observar que nos meses de junho e junho a taxa de erro é bastante pequena para junho – 2,85% e julho - 1,25%. Porém nos meses posteriores de agosto a dezembro a taxa de erro foi bastante acentuada, sendo dezembro o mês em que obteve maior taxa de erro entre o simulado e o real com o valor de – 59,7% seguidos de outubro com – 31,12% novembro com -30,8% e setembro com -25%. Já o mês de agosto apresentou um erro médio de -14,7%.

Tabela 2 – Resultado dos valores reais e simulados e seus respectivos erros médios de junho a dezembro para o gerador 01.

		Real (MWh)	SAM (MWh)	Erro (%)
1	Janeiro		8500	
2	Fevereiro		7500	
3	Março		6900	
4	Abril		8100	
5	Maio		7700	
6	Junho	7000	7200	- 2,85
7	Julho	8000	8100	- 1,25
8	Agosto	8500	9750	- 14,70
9	Setembro	8000	10000	-25
10	Outubro	7550	9900	-31,12
11	Novembro	6570	8.600	-30,8
12	Dezembro	5197	8300	-59,7

Fonte: Autor (2023).

A energia anual produzida do gerador 01 é de 101.674 KWh como fator de capacidade de 19,7% e o rendimento final (Y) de 1.729 KWh/KW .Valores extraídos via simulação mostrado na Fig 59 abaixo.

Figura 59 – Resultado simulação da geração energética total anual e fator de capacidade gerador 01.

Annual AC energy in Year 1	101,674 kWh
DC capacity factor in Year 1	19.7%
Energy yield in Year 1	1,729 kWh/kW

Fonte: SAM (2023).

Gerador 02:

A simulação computacional para o gerador 02, o total de módulos para cada arranjo é calculado através do produto da quantidade de módulos por string e a quantidade de strings em paralelo. Sendo que o gerador 02 possui 02 arranjos conectados na entrada MPPT do inversor solar e o arranjo 01 possui 11 módulos por string e é composto de 3 strings em paralelo resultando no total de módulo de 33 gerando assim uma tensão de circuito aberto $V_{oc} = 579,7V$ e a tensão $V_{mpp} = 482,9V$. O arranjo 02 possui 11 módulos por strings sendo composto de 3 strings em paralelo com um total de módulos de 33 gerando assim uma tensão de circuito aberto $V_{oc} = 579,7 V$ e a tensão e máxima potência de $V_{mpp} = 482,9$. Mostrado na Fig. 60 abaixo.

Figura 60 – Resultado da geração de tensão de circuito aberto V_{oc} e máxima potência V_{mpp} no gerador 02 .

Electrical Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☐ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	11	11		
Strings in parallel in subarray	3	3		
Number of modules in subarray	33	33		
String Voc at reference conditions (V)	579.7	579.7		
String Vmp at reference conditions (V)	482.9	482.9		
Tracking & Orientation				
Inverter MPPT input for subarray	1	2		

Fonte: SAM (2023).

A figura abaixo apresenta o resultado da capacidade de potência máxima que o gerador 02 pode gerar. Em termo de potência a capacidade máxima é de 29,409 KW com a quantidade de 66 módulos com total de 6 strings ocupando uma área 133,254 m².

Figura 61 – Resultado da potência do arranjo e do inversor e os números de módulos e a área total necessária para o gerador 02.

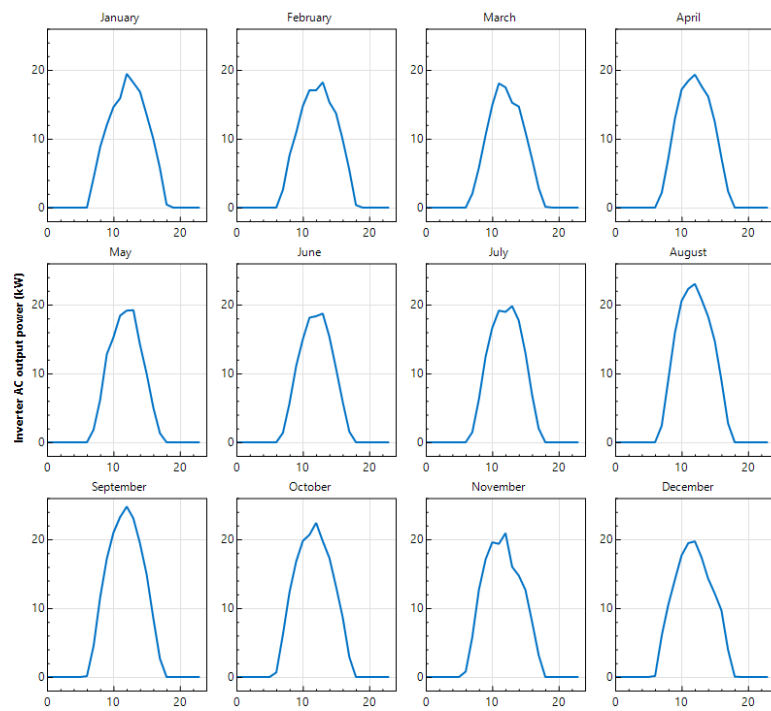
Sizing Summary

Nameplate DC capacity	29.409	kWdc	Number of modules	66
Total AC capacity	36.000	kWac	Number of strings	6
Total inverter DC capacity	36.623	kWdc	Total module area	133.254 m ²

Fonte: SAM (2023).

Abaixo é mostrada na Fig. 62 a simulação mensal durante o ano a energia gerada na saída do inversor solar do gerador 02. E de se observar que os meses de maior irradiância solar o inversor gera as maiores potências. No mês de agosto é gerado a média de 24 KW em setembro 26 KW e outubro 23 KW. No mês de junho e valor de potência de saída 18 KW e julho 20 KW.

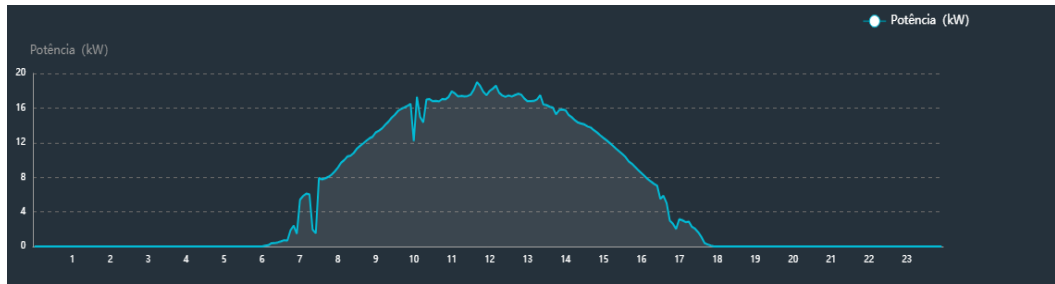
Figura 62 – Resultado da simulação a potência gerada na saída do inversor gerador 02.



Fonte: SAM (2023).

Abaixo na Fig. 63 é mostrado a curva de potência gerada na saída do inversor pelo aplicativo do fabricante GOODWE, observa-se que o valor é próximo do valor simulado acima de 18KW.

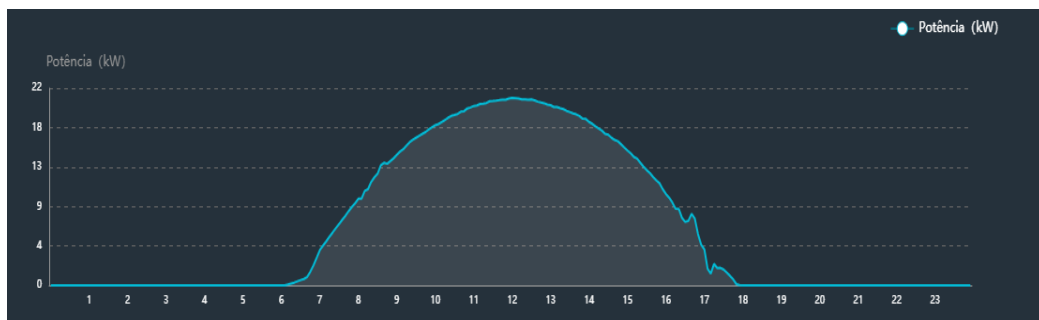
Figura 63 – Resultado extraído via software de monitoramento em *loco* na saída do inversor do gerador 02.



Fonte: Goodwe (2023).

O valor de potência na saída do inversor corresponde a um valor próximo a 21 KW valor mostrado na Fig. 64 abaixo.

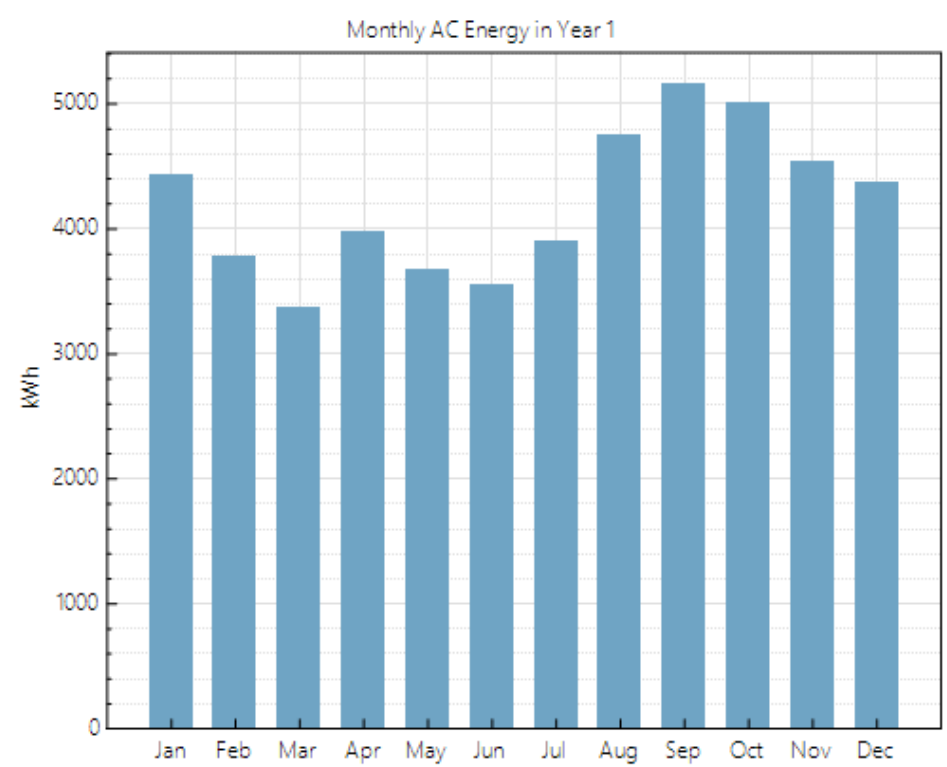
Figura 64– Resultado extraído via software de monitoramento em *loco* na saída do inversor do gerador 02.



Fonte: Goodwe (2023).

Levando em consideração a perdas sobre o gerador fotovoltaico o software mensura a produção de energia mensalmente durante o ano. O gráfico abaixo na Fig. 65 mostra o índice de energia produzida por mês do gerador fotovoltaico e de observar que o mês de maior produção de energia é no mês de setembro como 5300 KWh que coincide com período de maior nível de irradiância seguido de outubro 5000 KWh e agosto 4800 KWh o mês que de junho índice de produção de energia é de aproximadamente de 3.500 KWh e julho 3.900 KW em novembro 4500 KWh e dezembro 4300 KWh.

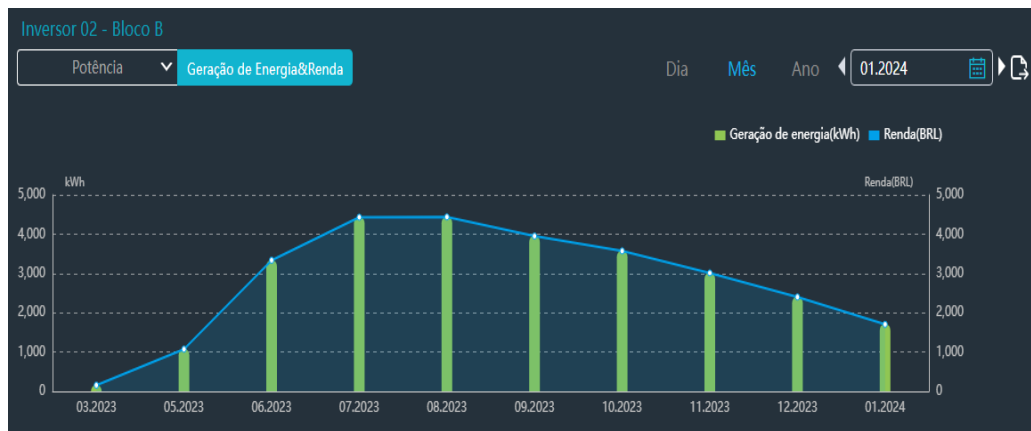
Figura 65 – Resultado da simulação da geração energética mensal durante 12 meses para o gerador 02.



Fonte: SAM (2023).

É mostrado abaixo na Fig. 66 os valores energéticos obtidos via software de monitoramento do inversor.

Figura 66 – Resultado da geração energética para os meses de junho e dezembro via software de monitoramento *in loco* no inversor gerador 02.



Fonte: SAM (2023).

A tabela 3 abaixo faz um comparativo entre o valor energético obtido via software de monitoramento e o simulado com sua respectiva porcentagem de erro. E de se observar que nos meses de junho e junho a taxa de erro é bastante pequena para junho 0% e julho -5,40% e agosto com -7,26%. Porém nos meses posteriores de agosto a dezembro a taxa de erro foi bastante acentuada, sendo dezembro o mês em que se obteve maior taxa de erro entre o simulado e o real com o valor de - 87,5%, seguidos de outubro com - 40% novembro com -50% e setembro com -32,5%.

Tabela 3 – Resultado dos valores reais e simulados e seus respectivos erros médios de junho a dezembro

	Meses	Real (MWh)	SAM (MWh)	Erro (%)
1	Janeiro		4400	
2	Fevereiro		3800	
3	Março		3400	
4	Abril		3900	
5	Maior		3600	
6	Junho	3500	3500	0
7	Julho	3700	3900	-5,40
8	Agosto	4475	4800	-7,26
9	Setembro	4000	5300	- 32,5
10	Outubro	3570	5000	-40
11	Novembro	3000	4500	-50
12	Dezembro	2400	4300	-87,5

Fonte: Autor (2023).

A energia anual produzida do gerador 02 é de 54.657 KWh como fator de capacidade de 21,2% e rendimento final de (Y) de 1.859 KWh/KWh. Valores extraídos da simulação computacional e mostrado na Fig 67 abaixo .

Figura 67 – Resultado simulação da geração energética total anual e fator de capacidade gerador 02

Annual AC energy in Year 1	54,657 kWh
DC capacity factor in Year 1	21.2%
Energy yield in Year 1	1,859 kWh/kW

Fonte: SAM (2023).

Gerador 03:

A simulação computacional para o gerador 03 , o total de módulos para cada arranjo é calculado através do produto da quantidade de módulos por string e a quantidade de strings em paralelo .Sendo que o gerador 03 possui 04 arranjos conectados na entrada MPPT do inversor solar e o arranjo 01 possui 11 módulos por string e é composto de 3 strings em paralelo o total de módulo é de 33 gerando assim uma tensão de circuito aberto $V_{oc} = 579,7$ V e a tensão de máxima potência de $V_{mpp} = 482,9$ V .O arranjo 02 apresenta a mesma configuração elétrica do arranjo 01 com tensão de circuito aberto $V_{oc} = 579,7$ V e a tensão $V_{mpp} = 482,9$ V o arranjo 3 possui 11 módulos por strings sendo composto de 1 string em paralelo com um total de módulos de 11 gerando assim uma tensão de circuito aberto $V_{oc} = 579,7$ V e a tensão e máxima potência de $V_{mpp} = 482,9$ V o arranjo 04 possui 12 módulos por string com uma string e paralelo gerando o total de 12 módulos com uma tensão de circuito aberto $V_{oc} = 632,4$ V e a tensão e máxima potência de $V_{mpp} = 526,8$ V. Valores mostrados na Fig. 68 abaixo.

Figura 68– Resultado da geração de tensão de circuito aberto V_{oc} e máxima potência V_{mpp} no gerador 03.

-Electrical Configuration-	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☒ Enable
Modules per string in subarray	11	11	11	12
Strings in parallel in subarray	3	3	1	1
Number of modules in subarray	33	33	11	12
String Voc at reference conditions (V)	579.7	579.7	579.7	632.4
String Vmp at reference conditions (V)	482.9	482.9	482.9	526.8
-Tracking & Orientation-				
Inverter MPPT input for subarray	1	2	3	4

Fonte: SAM (2023).

A Fig 69 abaixo apresenta o resultado da capacidade de potência máxima que o gerador 03 pode gerar. Em termo de potência a capacidade máxima é de 39,657 KW com a quantidade de 89 módulos com total de 8 strings ocupando uma área 186,170 m².

Figura 69 – Resultado da potência do arranjo e do inversor e o número de módulos e a área total necessária para o gerador 03.

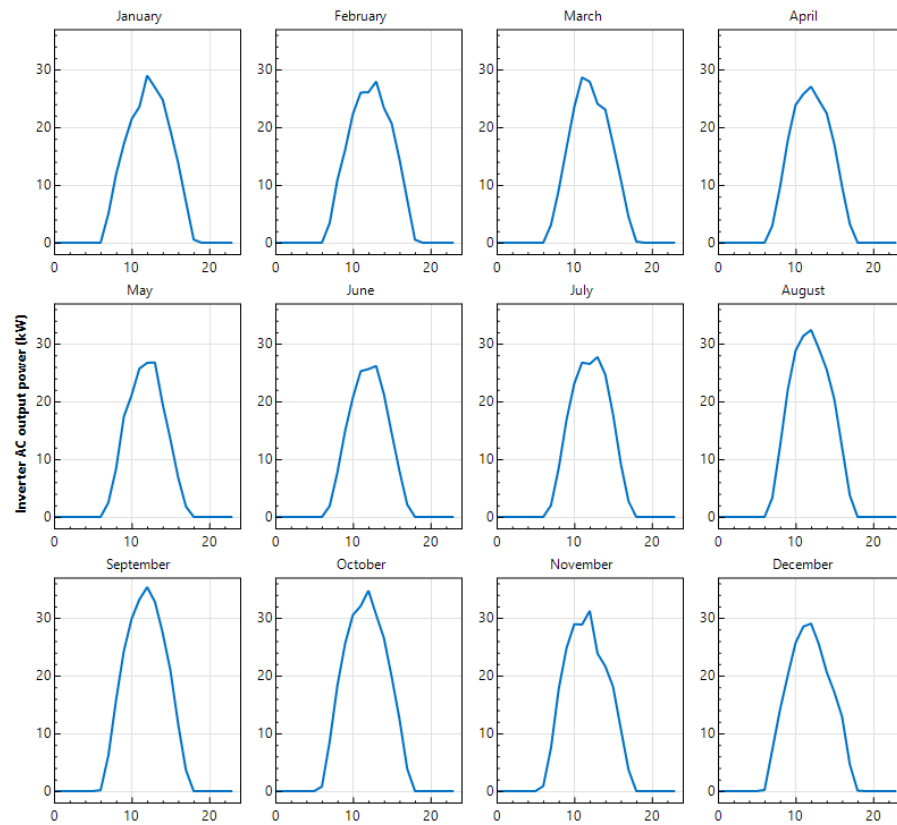
Sizing Summary

Nameplate DC capacity	39.657	kWdc	Number of modules	89
Total AC capacity	50.000	kWac	Number of strings	8
Total inverter DC capacity	50.865	kWdc	Total module area	186.170 m ²

Fonte: SAM (2023).

Abaixo na Fig. 70 abaixo, é mostrada por mês durante o ano a energia gerada na saída do inversor solar do gerador 03. E de se observar que os meses de maiores irradiâncias solar o inversor gera as maiores potências. No mês de agosto é gerado a média de 33 KW em setembro 36 KW e outubro 35 KW. No mês de junho e valor de potência de saída 26 KW e julho 28 KW.

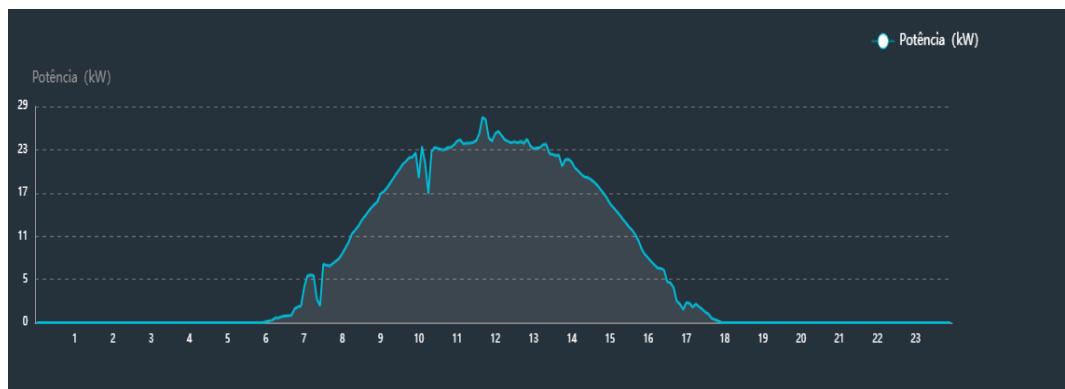
Figura 70 – Resultado da simulação a potência gerada na saída do inversor gerador 03.



Fonte: SAM (2023).

Abaixo na Fig. 71 é mostrado a curva de potência gerada na saída do inversor pelo aplicativo do fabricante GOODWE, observa-se que o valor é próximo do valor simulado um pouco acima de 24 KW.

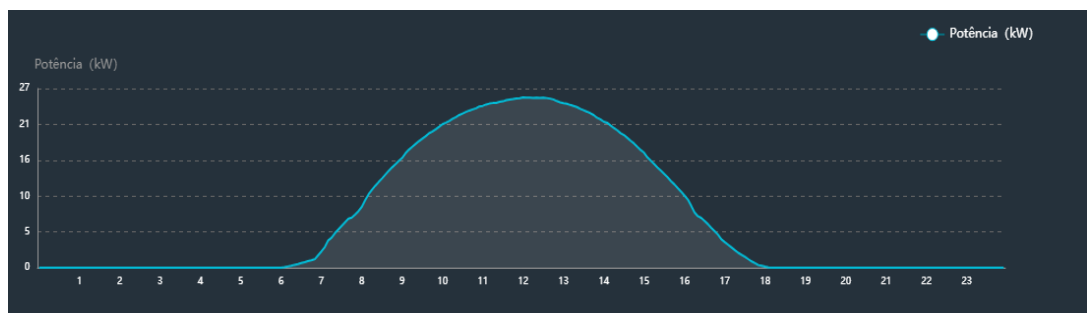
Figura 71 – Resultado extraído via software de monitoramento em *loco* na saída do inversor do gerador 03.



Fonte: Goodwe (2023).

O valor de potência na saída do inversor corresponde a um valor próximo a 27 KW. Mostrado na Fig. 72 abaixo.

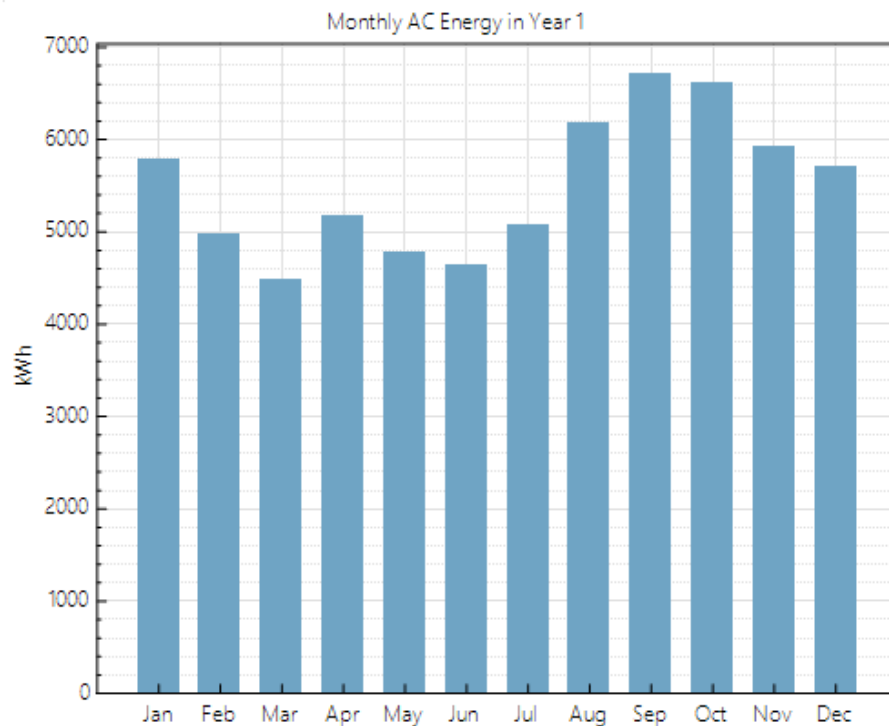
Figura 72– Resultado extraído via software de monitoramento em *loco* na saída do inversor do gerador 03.



. Fonte: Goodwe (2023).

Levando em consideração a perdas sobre o gerador fotovoltaico o software mensura a produção de energia mensalmente. O gráfico da Fig. 73 abaixo mostra o índice de energia produzida por mês do gerador fotovoltaico e de observar que o mês de maior produção de energia é no mês de setembro como 6700 KWh que coincide com período alto nível de irradiação seguido de outubro 6600 KWh e agosto com 6200 KWh e no mês junho mês de foi gerado 4600 KWh e julho 5100 KWh em novembro 5800 KWh e dezembro com 5600 KWh.

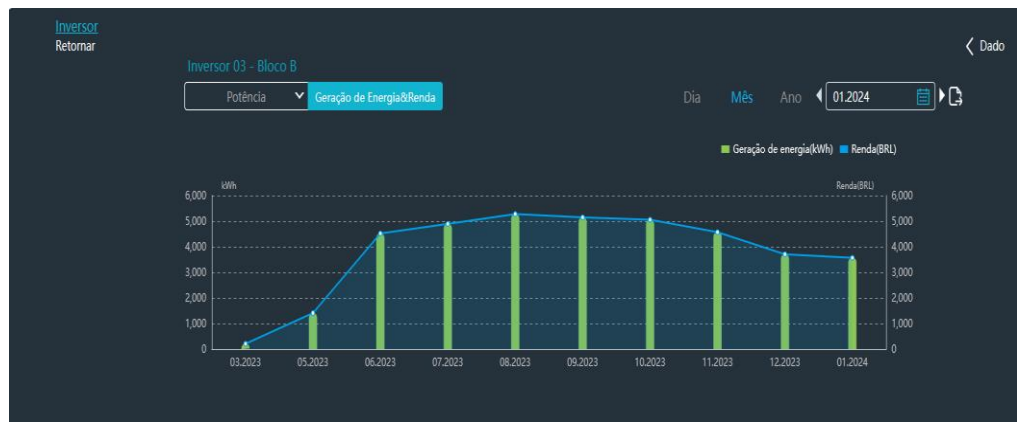
Figura 73 – Resultado da simulação da geração energética mensal durante 12 meses para o gerador 03



Fonte: SAM (2023).

É mostrado abaixo na Fig. 74 os valores energéticos obtidos via software de monitoramento do inversor de junho a dezembro.

Figura 74 – Resultado da geração energética para o mês de junho a dezembro via software de monitoramento em *loco* no inversor gerador 03



. Fonte: Goodwe (2023).

A tabela 3 abaixo faz um comparativo entre o valor energético obtido via software de monitoramento e o simulado com sua respectiva porcentagem de erro para o gerador 03. E de se observar que nos meses de junho e junho a taxa de erro é bastante pequena para junho - 2,22% e julho -2 % e agosto com -16,9%. Porém nos meses posteriores de setembro com -30%, outubro com -30,6% e novembro -26,9% a taxa de erro foi bastante acentuada, sendo dezembro que me dezembro obteve uma taxa baixa de erro com -8,33%.

Tabela 4– Resultado dos valores reais e simulados e seus respectivos erros médios de junho a dezembro

		Real (MWh)	SAM (MWh)	Erro (%)
1	Janeiro		5800	
2	Fevereiro		5000	
3	Março		4400	
4	Abril		5200	
5	Maio		4700	
6	Junho	4500	4600	-2,22
7	Julho	5000	5100	2
8	Agosto	5300	6200	16,9
9	Setembro	5150	6700	-30
10	Outubro	5050	6600	-30,6
11	Novembro	4570	5800	26,9
12	Dezembro	4800	5600	- 8,33

Fonte: Autor (2023).

A energia anual produzida do gerador 03 é de 67.122 KWh como fator de capacidade de 19,3% com rendimento final de 1.693 KWh/KWh.

Figura 75 – Resultado simulação da geração energética total anual e fator de capacidade gerador 03

Annual AC energy in Year 1	67,122 kWh
DC capacity factor in Year 1	19.3%
Energy yield in Year 1	1,693 kWh/kW

Fonte: SAM (2023).

Gerador 04:

A simulação computacional mostrada na Fig. 76 abaixo para o gerador 04 , o total de módulos para cada arranjo é calculado através do produto da quantidade de módulos por string e a quantidade de strings em paralelo .Sendo que o gerador 04 possui 03 arranjos conectados na entrada MPPT do inversor solar e o arranjo 01 possui 12 módulos por string e é composto de 3 strings em paralelo o total de módulo é de 36 gerando assim uma tensão de circuito aberto $V_{oc} = 632,4 \text{ V}$ e a tensão de máxima potência de $V_{mpp} = 526,8 \text{ V}$.O arranjo 02 apresenta a configuração elétrica com 10 módulos e 2 strings em paralelo com total de 20 módulos com tensão de circuito aberto $V_{oc} = 527,0\text{V}$ e a tensão $V_{mpp} = 439,0 \text{ V}$ o arranjo 3 possui 12 módulos por strings sendo composto de 3 string em paralelo com um total de módulos de 36 gerando assim uma tensão de circuito aberto $V_{oc} = 632,4 \text{ V}$ e a tensão e máxima potência de $V_{mpp} = 526,8 \text{ V}$.

Figura 76 – Resultado da geração de tensão de circuito aberto V_{oc} e máxima potência V_{mpp} no gerador 04.

	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
-Electrical Configuration-				
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	12	10	12	
Strings in parallel in subarray	3	2	3	
Number of modules in subarray	36	20	36	
String Voc at reference conditions (V)	632.4	527.0	632.4	
String Vmp at reference conditions (V)	526.8	439.0	526.8	
-Tracking & Orientation-				
Inverter MPPT input for subarray	1	2	3	

Fonte: SAM (2023).

A figura abaixo apresenta o resultado da capacidade de potência máxima que o gerador 04 pode gerar. Em termo de potência a capacidade máxima é de 40,657 KW com a quantidade de 92 módulos com total de 8 strings ocupando uma área 184,00 m².

Figura 77 – Resultado da potência do arranjo e do inversor o número de módulos e a área total necessária para o gerador 04.

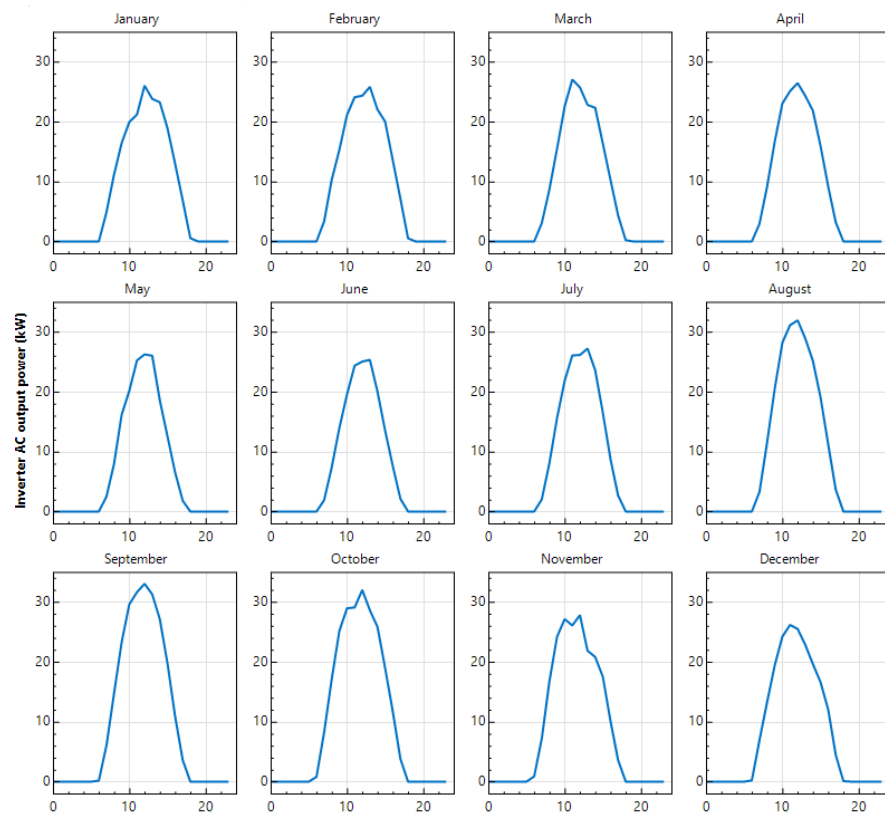
Sizing Summary

Nameplate DC capacity	40.994	kWdc	Number of modules	92
Total AC capacity	36.000	kWac	Number of strings	8
Total inverter DC capacity	36.548	kWdc	Total module area	184.000 m ²

Fonte: SAM (2023).

Abaixo na Fig. 78 é mostrada por mês durante o ano a energia gerada na saída do inversor solar do gerador 04. E de se observar que os meses de maior irradiância solar o inversor gera as maiores potências. No mês de agosto é gerado a média de 32 KW em setembro 34 KW e outubro 32,5 KW. No mês de junho e valor de potência de saída 25 KW e julho 27 KW.

Figura 78 – Resultado da simulação a potência gerada na saída do inversor gerador 04.



Fonte: SAM (2023).

Abaixo na Fig. 79 é mostrado a curva de potência gerada na saída do inversor pelo aplicativo do fabricante GOODWE, observa-se que o valor é próximo do valor simulado um pouco acima de 25 KW.

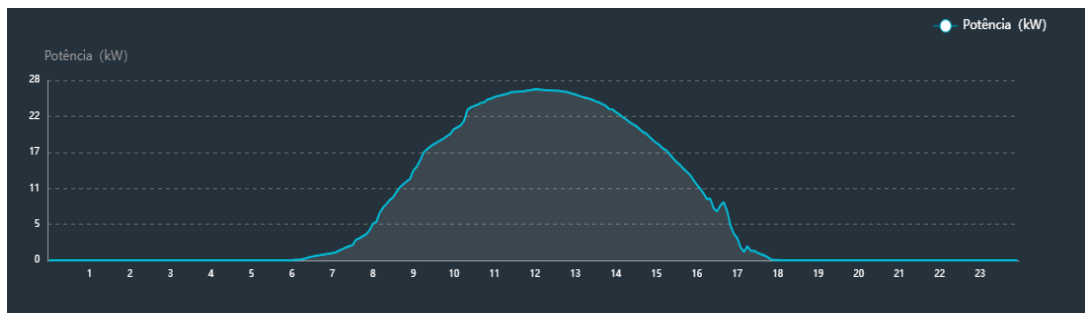
Figura 79 – Resultado extraído via software de monitoramento *in loco* na saída do inversor do gerador 04 .



Fonte: Goodwe (2023).

O valor de potência segunda amostra, na saída do inversor corresponde a um valor próximo a 27 KW. Mostrado na Fig. 80 abaixo.

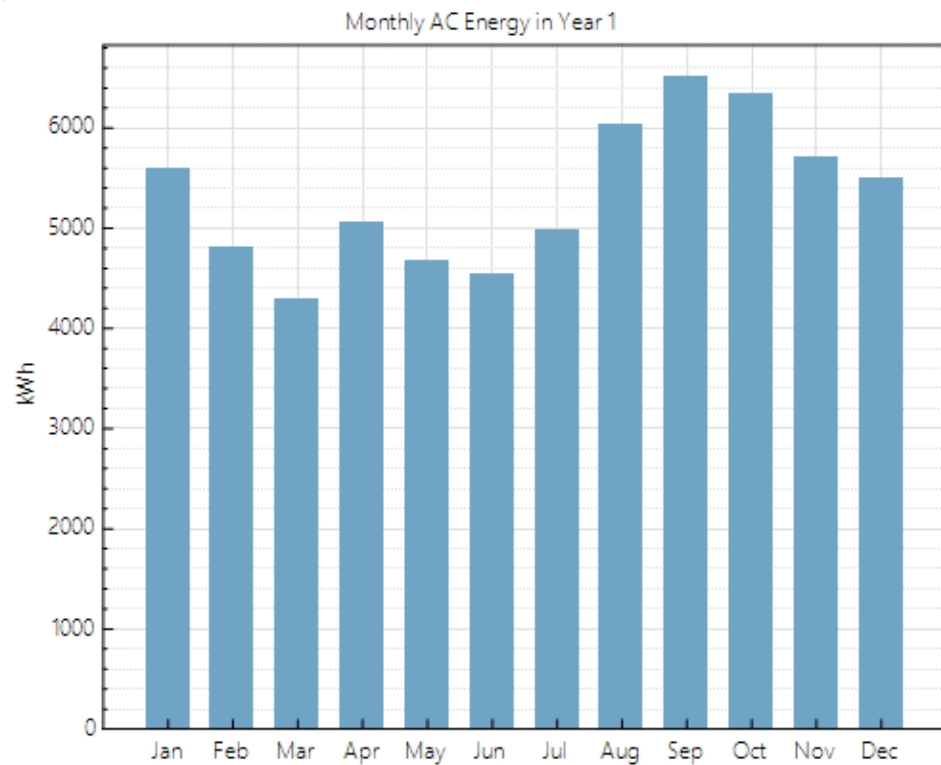
Figura 80 – Resultado extraído via software de monitoramento em *loco* na saída do inversor do gerador 04.



Fonte: Goodwe (2023).

Levando em consideração a perdas sobre o gerador fotovoltaico o software mensura a produção de energia mensalmente. O gráfico da Fig. 81 abaixo mostra o índice de energia produzida por mês do gerador fotovoltaico e de observar que os meses de maior produção de energia é no mês de setembro com 6.600 KWh de agosto 6.000 KWh e outubro 6.400 KWh que coincide com período de maior nível de irradiância e o mês que gera o menor índice de produção de energia é o mês de junho valor aproximado de 4.400 KWh e julho 5.000 KWh, em novembro valor 5700 KWh e dezembro 5.500 KWh.

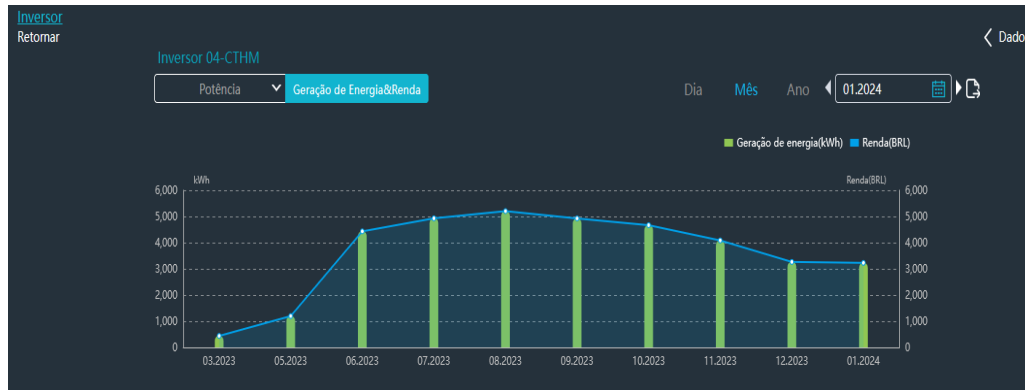
Figura 81 – Resultado da simulação da geração energética mensal durante 12 meses para o gerador 04



Fonte: SAM (2023).

É mostrado abaixo na Fig. 82, os valores energéticos obtidos via software de monitoramento do inversor de junho a dezembro.

Figura 82 – Resultado da geração energética para os meses de junho a dezembro via software de monitoramento em *loco* no inversor gerador 04.



Fonte: Goodwe (2023).

A tabela 4, abaixo faz um comparativo entre o valor energético obtido via software de monitoramento e o simulado com sua respectiva porcentagem de erro para o gerador 04. E de se observar que nos meses de junho e junho as taxas de erros foram nulas e agosto com -15,3%. Porém nos meses posteriores de setembro com -32%, outubro com -36,17% e novembro – 39% as taxas de erros foram bastantes acentuadas, em dezembro obteve-se a maior taxa de erro com -68,75%.

Tabela 5 – Resultado dos valores reais e simulados e seus respectivos erros médios de junho a dezembro

		Real (MWh)	SAM (MWh)	Erro (%)
1	Janeiro		5600	
2	Fevereiro		4800	
3	Março		4300	
4	Abril		5050	
5	Maio		4600	
6	Junho	4400	4400	0
7	Julho	5000	5000	0
8	Agosto	5200	6000	-15,3
9	Setembro	5000	6600	-32
10	Outubro	4700	6400	36,17
11	Novembro	4100	5700	39
12	Dezembro	3200	5400	-68,75

Fonte: Autor (2023).

A energia anual produzida do gerador 04 é de 61.855 KWh como fator de capacidade de 17,2% e rendimento final(Y) 1.509 KWh/KWh . Mostrado na Fig 83.

Figura 83 – Resultado simulação da geração energética total anual e fator de capacidade gerador 04

Annual AC energy in Year 1	61,855 kWh
DC capacity factor in Year 1	17.2%
Energy yield in Year 1	1,509 kWh/kW

Fonte: SAM (2023).

Gerador 05:

A simulação computacional para o gerador 05 , o total de módulos para cada arranjo é calculado através do produto da quantidade de módulos por string e a quantidade de strings em paralelo .Sendo que o gerador 05 possui 03 arranjos conectados na entrada MPPT do inversor solar e o arranjo 01 possui 13 módulos por string e é composto de 3 strings em paralelo o total de módulo é de 39 gerando assim uma tensão de circuito aberto $V_{oc} = 685,1$ V e a tensão de máxima potência de $V_{mpp} = 570,7$ V .O arranjo 02 apresenta a configuração elétrica do com 12 módulos na string e 3 strings em paralelo com total de 36 módulos com tensão de circuito aberto $V_{oc} = 632,4$ V e a tensão $V_{mpp} = 526,8$ V o arranjo 3 possui 13 módulos por strings sendo composto de 4 strings em paralelo com um total de módulos de 52 gerando assim uma tensão de circuito aberto $V_{oc} = 685,1$ V e a tensão e máxima potência de $V_{mpp} = 570,7$ V . Valores mostrado na Fig. 84.

Figura 84 – Resultado da geração de tensão de circuito aberto V_{oc} e máxima potência V_{mpp} no gerador 05.

-Electrical Configuration-	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	13	12	13	
Strings in parallel in subarray	3	3	4	
Number of modules in subarray	39	36	52	
String Voc at reference conditions (V)	685.1	632.4	685.1	
String Vmp at reference conditions (V)	570.7	526.8	570.7	
-Tracking & Orientation-				
Inverter MPPT input for subarray	1	2	3	

Fonte: SAM (2023).

A figura 85 abaixo apresenta o resultado da capacidade de potência máxima que o gerador 05 pode gerar. Em termo de potência a capacidade máxima é de 56,589 KW com a quantidade de 127 módulos com total de 10 strings ocupando uma área 254,00 m².

Figura 85 – Resultado da potência do arranjo e do inversor e o número de módulos e a área total necessária para o gerador 05.

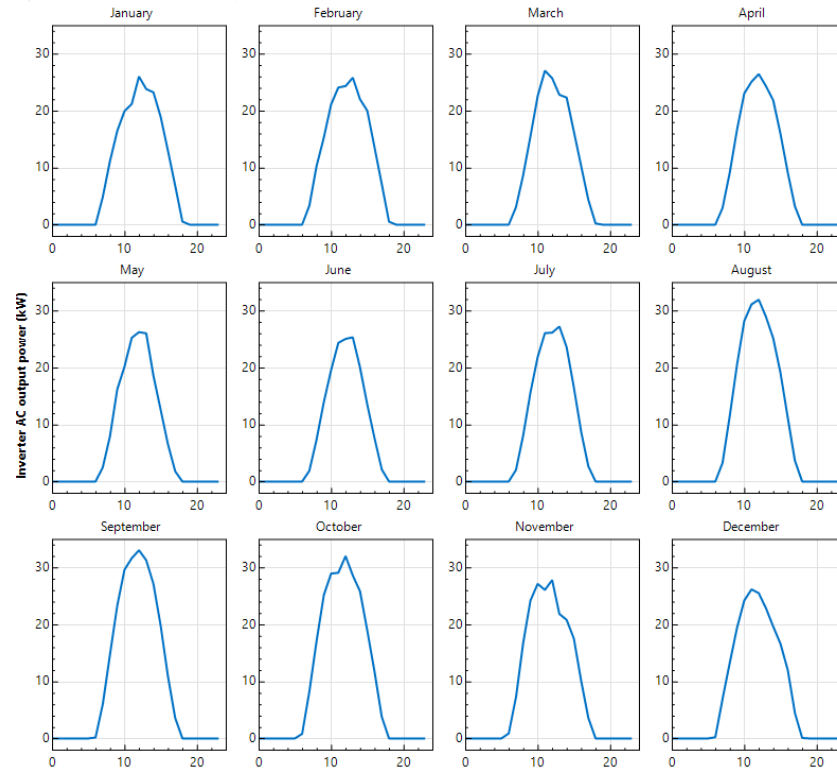
Sizing Summary

Nameplate DC capacity	56.589	kWdc	Number of modules	127
Total AC capacity	50.000	kWac	Number of strings	10
Total inverter DC capacity	50.659	kWdc	Total module area	254.000 m ²

Fonte: SAM (2023).

Abaixo na Fig. 86 é mostrada por mês durante o ano a energia gerada na saída do inversor solar do gerador 05. E de se observar que os meses de maior irradiância solar o inversor gera as maiores potências. No mês de agosto é gerado a média de 33 KW em setembro 34 KW e outubro 32 KW. No mês de junho e valor de potência de saída 25 KW e julho 27 KW.

Figura 86 – Resultado da simulação a potência gerada na saída do inversor gerador 05.



Fonte: SAM (2023).

Abaixo na Fig. 87 é mostrado a curva de potência gerada na saída do inversor pelo aplicativo monitoramento do fabricante GOODWE como valor próximo a 35 KW.

Figura 87 – Resultado extraído via software de monitoramento em *loco* na saída do inversor do gerador 05 .



Fonte: Goodwe (2023).

O valor de potência na segunda amostra na saída do inversor extraído em *loco* corresponde a um valor próximo a 35 KW mostrado na Fig. 88,

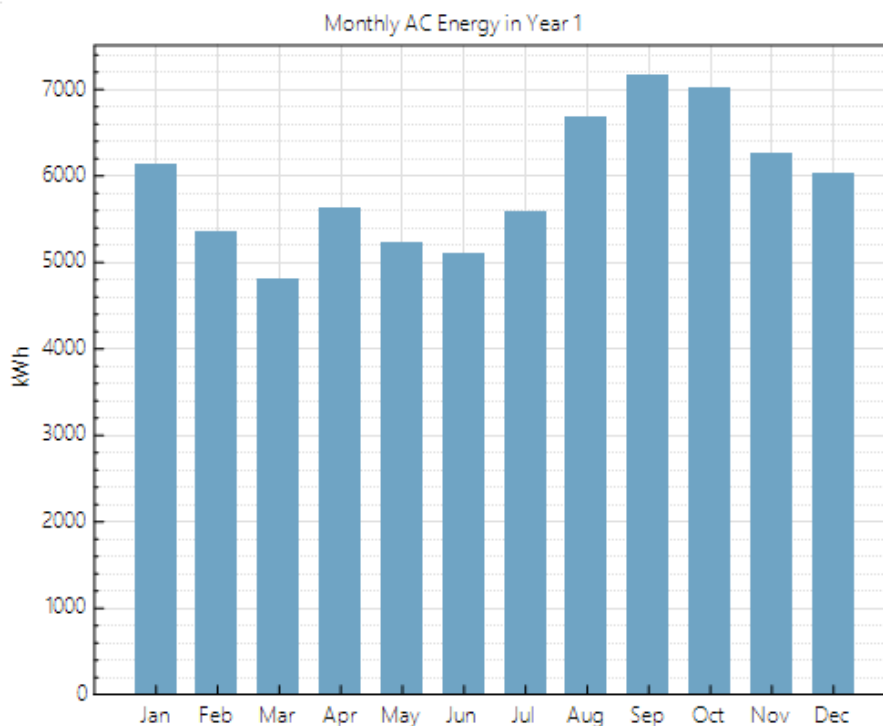
Figura 88 – Resultado extraído via software de monitoramento em *loco* na saída do inversor do gerador 05 .



Fonte: Goodwe (2023).

Levando em consideração a perdas sobre o gerador fotovoltaico o software mensura a produção de energia mensalmente. O gráfico da Fig. 89 abaixo mostra o índice de energia produzida por mês do gerador fotovoltaico e de observar que os meses de maior produção de energia é nos meses de agosto 6.600 KWh de Setembro 7.200 KWh e outubro com 7.000 KWh que coincide com os períodos de maior nível de irradiância, e no mês de junho valor aproximado de 5.100 KWh e julho 5.600 KWh. Em novembro 6200 KWh e dezembro 6000 KWh.

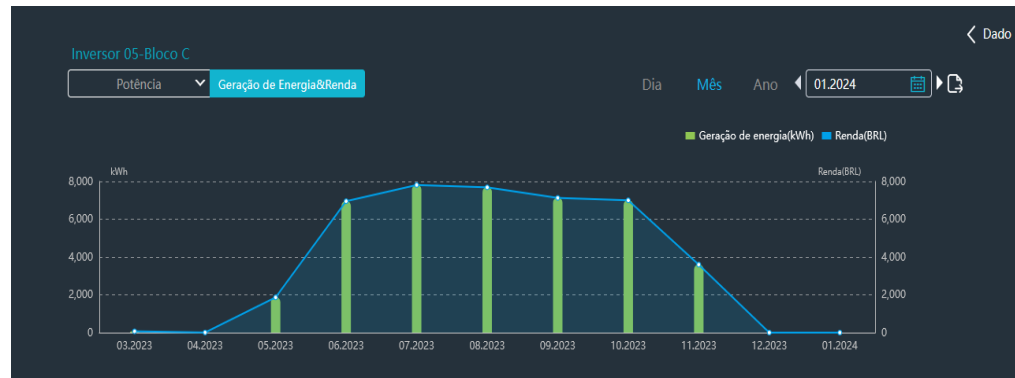
Figura 89 – Resultado da simulação da geração energética mensal durante 12 meses para o gerador 05



Fonte: SAM (2023).

É mostrado abaixo na Fig. 90, os valores energéticos obtidos via software de monitoramento do inversor de junho a dezembro

Figura 90 – Resultado da geração energética para os meses de junho a dezembro via software de monitoramento *in loco* no inversor gerador 05.



Fonte: Goodwe (2023).

A tabela 5, abaixo faz um comparativo entre o valor energético obtido via software de monitoramento e o simulado com sua respectiva porcentagem de erro para o gerador 04. E de se observar que nos meses de junho e julho as taxas de erros foram -21,5% e -28,2% respectivamente e agosto com -14%. Porém nos meses posteriores de setembro e outubro a taxa foram nulas de -0,69% e 0% respectivamente. Em novembro ocorreu uma elevada taxa de erro valor de -72,2% e dezembro o sistema parou de funcionar não gerando energia.

Tabela 6– Resultado dos valores reais e simulados e seus respectivos erros médios de junho a dezembro para o gerador 05

		Real (MWh)	SAM (MWh)	Erro (%)
1	Janeiro		6200	
2	Fevereiro		5400	
3	Março		4700	
4	Abril		5700	
5	Maio		5200	
6	Junho	6500	5100	-21,5
7	Julho	7800	5600	-28,2
8	Agosto	7680	6600	-14
9	Setembro	7150	7200	-0,69
10	Outubro	7000	7000	0
11	Novembro	3600	6200	-72,2
12	Dezembro	0	6000	-100

Fonte: Autor (2023).

A energia anual produzida do gerador 05 é de 80.364 KWh como fator de capacidade de 16,2% e rendimento final(Y) 1.420 KWh/KWh . Mostrado na Fig 83.

Figura 91 – Resultado simulação da geração energética total anual e fator de capacidade gerador 05

Annual AC energy in Year 1	80,364 kWh
DC capacity factor in Year 1	16.2%
Energy yield in Year 1	1,420 kWh/kW

Fonte: SAM (2023).

Gerador 06:

A simulação computacional mostrado na Fig. 92 para o gerador 06 , o total de módulos para cada arranjo é calculado através do produto da quantidade de módulos por string e a quantidade de strings em paralelo .Sendo que o gerador 06 possui 03 arranjos conectados na entrada MPPT do inversor solar e o arranjo 01 possui 13 módulos por string e é composto de 3 strings em paralelo o total de módulo é de 39 gerando assim uma tensão de circuito aberto $V_{oc} = 685,1 \text{ V}$ e a tensão de máxima potência de $V_{mpp} = 570,7 \text{ V}$.O arranjo 02 apresenta a configuração elétrica do com 12 módulos na string e 3 strings em paralelo com total de 36 módulos com tensão de circuito aberto $V_{oc} = 632,4\text{V}$ e a tensão $V_{mpp} = 526,8 \text{ V}$ o arranjo 3 possui 13 módulos por strings sendo composto de 4 strings em paralelo com um total de módulos de 52 gerando assim uma tensão de circuito aberto $V_{oc} = 685,1 \text{ V}$ e a tensão e máxima potência de $V_{mpp} = 570,7 \text{ V}$.

Figura 92 – Resultado da geração de tensão de circuito aberto Voc e máxima potência Vmp no gerador 06.

	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
-Electrical Configuration				
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	13	12	13	
Strings in parallel in subarray	3	3	4	
Number of modules in subarray	39	36	52	
String Voc at reference conditions (V)	685.1	632.4	685.1	
String Vmp at reference conditions (V)	570.7	526.8	570.7	
-Tracking & Orientation				
Inverter MPPT input for subarray	1	2	3	

Fonte: SAM (2023).

A Fig 93 abaixo apresenta o resultado da capacidade de potência máxima que o gerador 06 pode gerar. Em termo de potência a capacidade máxima é de 56,589 KW com a quantidade de 127 módulos com total de 10 strings ocupando uma área 254,00 m².

Figura 93 – Resultado da potência do arranjo e do inversor os números de módulos e a área total necessária para o gerador 06.

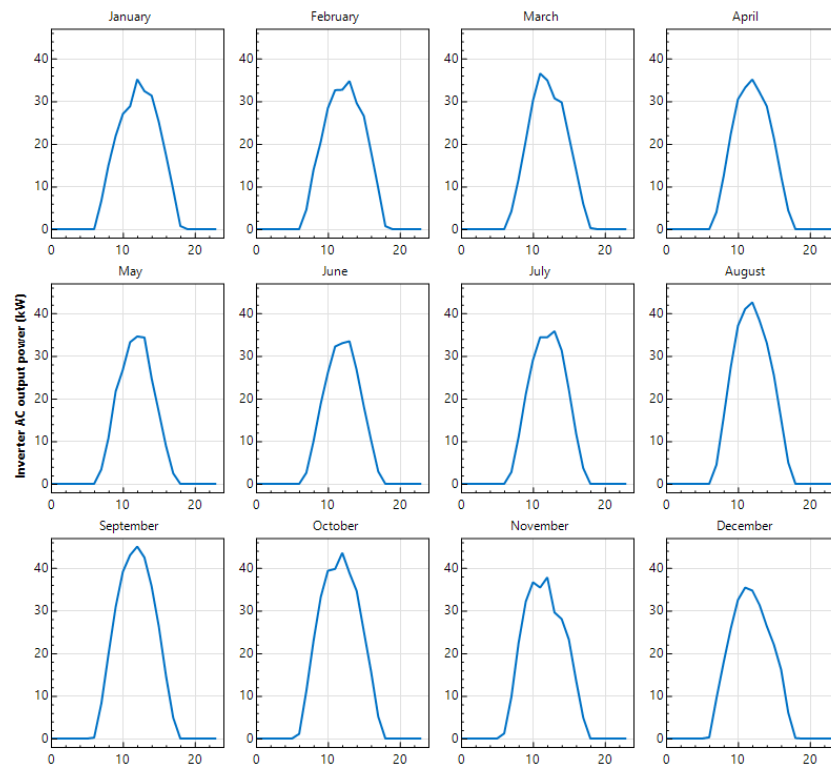
Sizing Summary

Nameplate DC capacity	56.589	kWdc	Number of modules	127
Total AC capacity	50.000	kWac	Number of strings	10
Total inverter DC capacity	50.659	kWdc	Total module area	254.000 m ²

Fonte: SAM (2023).

Abaixo na Fig. 94 é mostrada por mês durante o ano a energia gerada na saída do inversor solar do gerador 06. E de se observar que os meses de maior irradiância solar o inversor gera as maiores potências. No mês de agosto é gerado a média de 42 KW em setembro 45 KW e outubro 42 KW. No mês de junho e valor de potência de saída 34 KW e julho 37 KW.

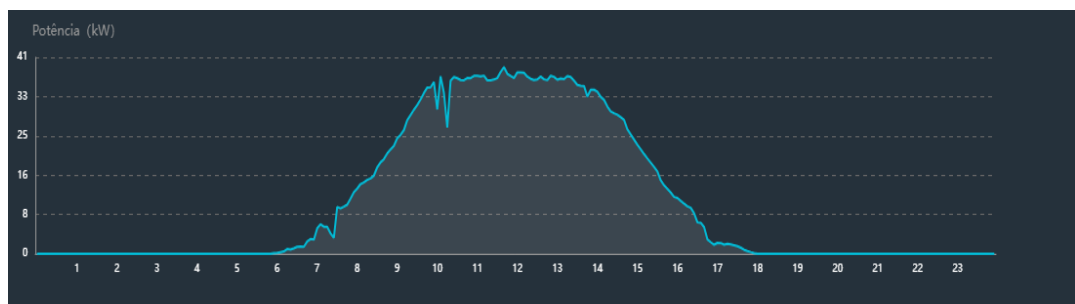
Figura 94 – Resultado da simulação a potência gerada na saída do inversor gerador 06.



Fonte: SAM (2023).

Abaixo na Fig. 95 é mostrado a curva de potência gerada na saída do inversor pelo aplicativo do fabricante GOODWE, observa-se que o valor é próximo do valor simulado um pouco acima de 34 KW.

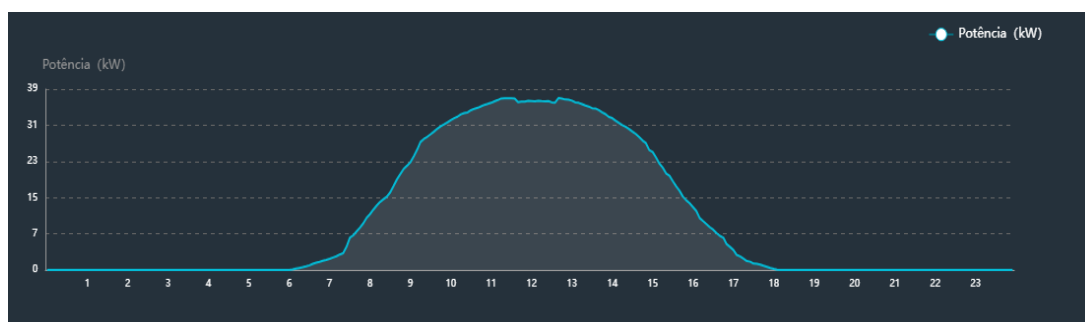
Figura 95 – Resultado extraído via software de monitoramento em *loco* na saída do inversor do gerador 06.



Fonte: Goodwe (2023).

O valor de potência na saída do inversor corresponde a um valor próximo a 38 KW. Mostrada na Fig. 96.

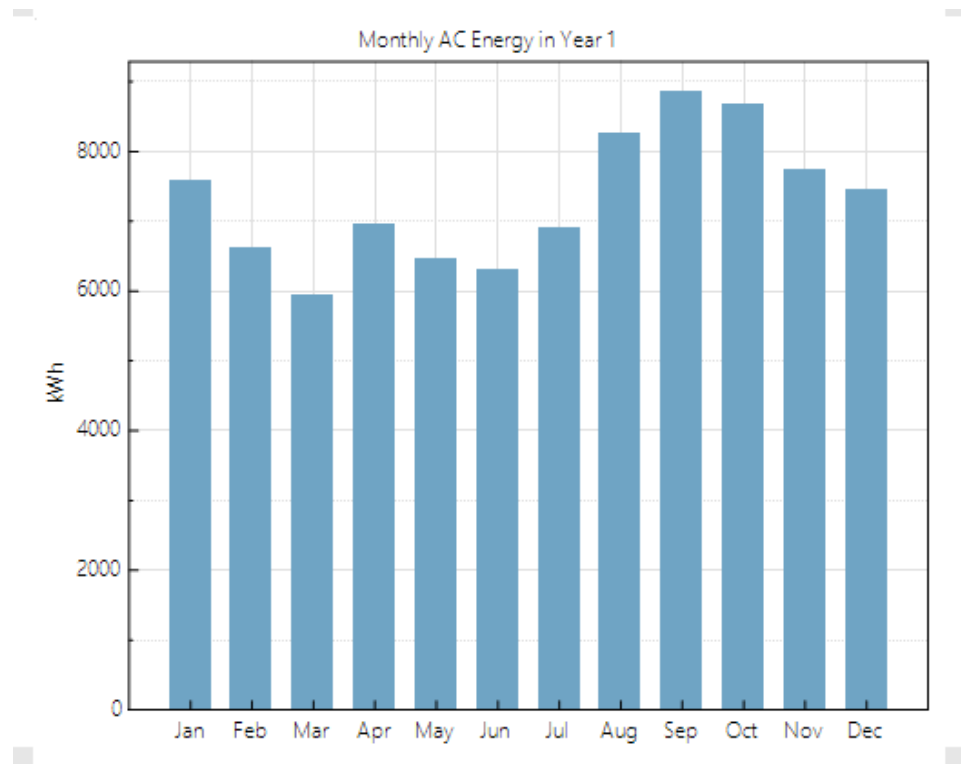
Figura 96 – Resultado extraído via software de monitoramento em *loco* na saída do inversor do gerador 06 para o mês de julho.



Fonte: Goodwe (2023).

Levando em consideração a perdas sobre o gerador fotovoltaico o software mensura a produção de energia mensalmente. O gráfico abaixo da Fig. 97, mostra o índice de energia produzida por mês do gerador fotovoltaico e de observar que o mês de maior produção de energia é no mês de setembro com 8.700 KWh agosto 8.200 KWh e outubro como 8.500 KWh que coincide com período de maior nível de irradiância e no mês de junho e julho foi gerado respectivamente 6200 KWh e 6900 KWh. No mês de novembro valor de 7800 KWh e dezembro 7600 KWh.

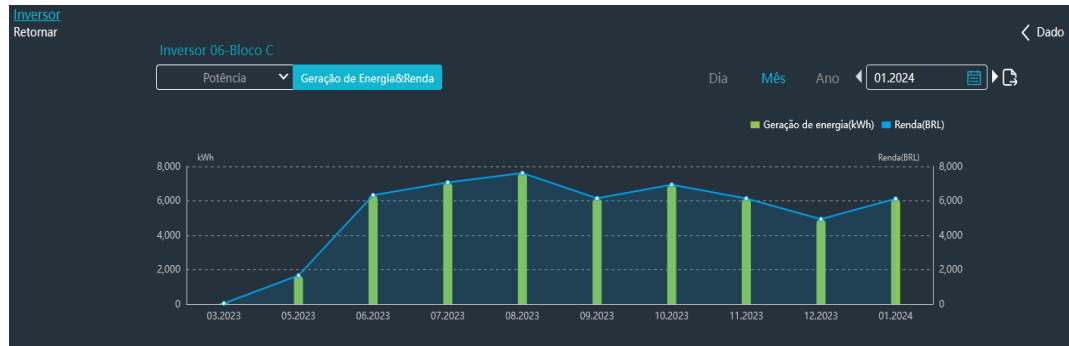
Figura 97 – Resultado da simulação da geração energética mensal durante 12 meses para o gerador 06



Fonte: SAM (2023).

É mostrado abaixo na Fig. 98, os valores energéticos obtidos via software de monitoramento do inversor de junho a dezembro.

Figura 98 – Resultado da geração energética para os meses de junho a dezembro via software de monitoramento em *loco* no inversor gerador 06.



Fonte: Goodwe (2023).

A tabela 6, abaixo faz um comparativo entre o valor energético obtido via software de monitoramento e o simulado com sua respectiva porcentagem de erro para o gerador 06. E de se observar que nos meses de junho e junho e agosto as taxas de erros foram bastantes baixas de 0% de -1,42 % e - 7,42 respectivamente. Porém nos meses de outubro e novembro a taxa de erro se elevou para -21,4% e - 23,5% respectivamente. Os meses com as maiores taxas de erro foram setembro e dezembro com - 41,46% e - 48%.

Tabela 7– Resultado dos valores reais e simulados e seus respectivos erros médios de junho a dezembro para o gerador 06

		Real (MWh)	SAM (MWh)	Erro (%)
1	Janeiro		7600	
2	Fevereiro		6600	
3	Março		5900	
4	Abril		6900	
5	Maio		6500	
6	Junho	6200	6200	0
7	Julho	7000	6900	-1,42
8	Agosto	7650	8200	-7,19
9	Setembro	6150	8700	-41,46
10	Outubro	7000	8500	-21,4
11	Novembro	6150	7600	-23,5
12	Dezembro	5000	7400	- 48%

Fonte: Autor (2023).

A energia anual produzida do gerador 06 é de 88.588 KWh como fator de capacidade de 17,9% e rendimento final(Y) 1.565 KWh/KWh . Mostrado na Fig 99.

Figura 99 – Resultado simulação da geração energética total anual e fator de capacidade gerador 06

Annual AC energy in Year 1	88,588 kWh
DC capacity factor in Year 1	17.9%
Energy yield in Year 1	1,565 kWh/kW

Fonte: SAM (2023).

Gerador 07:

A simulação computacional mostrado na Fig. 100 para o gerador 07 , o total de módulos para cada arranjo é calculado através do produto da quantidade de módulos por string e a quantidade de strings em paralelo .Sendo que o gerador 07 possui 03 arranjos conectados na entrada MPPT do inversor solar e o arranjo 01 possui 13 módulos por string e é composto de 4 strings em paralelo o total de módulo é de 52 gerando assim uma tensão de circuito aberto $V_{oc} = 685,1 \text{ V}$ e a tensão de máxima potência de $V_{mpp} = 570,7 \text{ V}$.O arranjo 02 apresenta a configuração elétrica do com 12 módulos na string e 3 strings em paralelo com total de 36 módulos com tensão de circuito aberto $V_{oc} = 632,4\text{V}$ e a tensão $V_{mpp} = 526,8 \text{ V}$ o arranjo 3 possui 13 módulos por strings sendo composto de 4 strings em paralelo com um total de módulos de 52 gerando assim uma tensão de circuito aberto $V_{oc} = 685,1 \text{ V}$ e a tensão e máxima potência de $V_{mpp} = 570,7 \text{ V}$.

Figura 100 – Resultado da geração de tensão de circuito aberto V_{oc} e máxima potência V_{mpp} no gerador 07.

	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
-Electrical Configuration-				
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	13	12	13	
Strings in parallel in subarray	4	3	4	
Number of modules in subarray	52	36	52	
String Voc at reference conditions (V)	685.1	632.4	685.1	
String Vmp at reference conditions (V)	570.7	526.8	570.7	
-Tracking & Orientation-				
Inverter MPPT input for subarray	1	2	3	

Fonte: SAM (2023).

A Fig 101, abaixo apresenta o resultado da capacidade de potência máxima que o gerador 07 pode gerar. Em termo de potência a capacidade máxima é de 62,382 KW com a quantidade de 140 módulos com total de 11 strings ocupando uma área 280,00 m².

Figura 101 – Resultado da potência do arranjo e do inverso e o número de módulos e a área total necessária para o gerador 07.

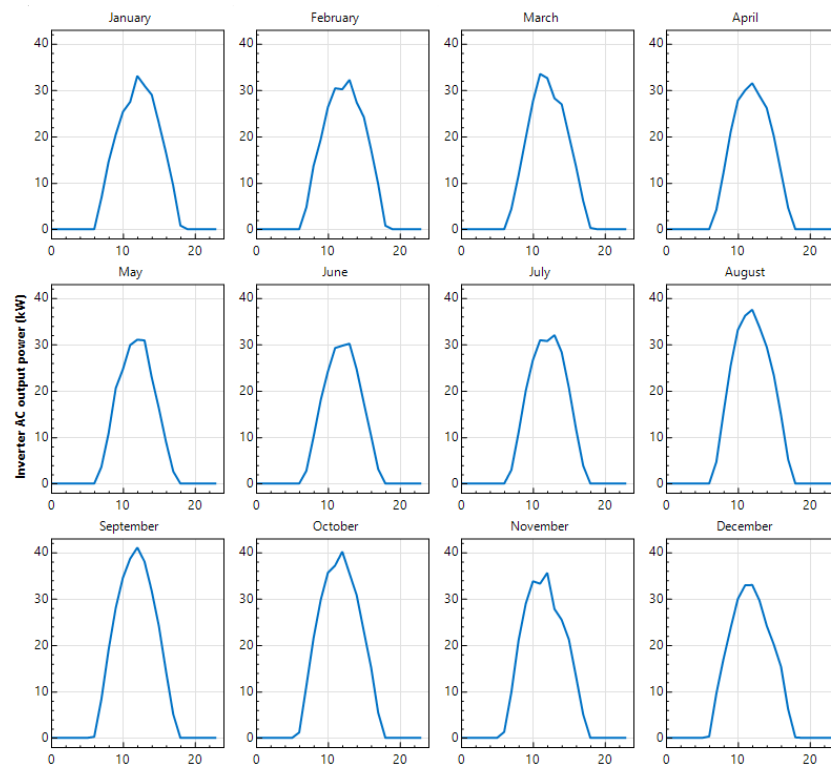
Sizing Summary

Nameplate DC capacity	62.382	kWdc	Number of modules	140
Total AC capacity	50.000	kWac	Number of strings	11
Total inverter DC capacity	50.865	kWdc	Total module area	280.000 m ²

Fonte: SAM (2023).

Abaixo na Fig. 102, é mostrada por mês durante o ano a energia gerada na saída do inversor solar do gerador 07. E de se observar que os meses de maior irradiância solar o inversor gera as maiores potências. No mês de agosto é gerado a média de 39 KW em setembro 42 KW e outubro 40 KW. No mês de junho e valor de potência de saída 31 KW e julho 34 KW.

Figura 102 – Resultado da simulação a potência gerada na saída do inversor gerador 07.



Fonte: SAM (2023).

Abaixo na Fig. 103 é mostrado a curva de potência gerada na saída do inversor pelo aplicativo do fabricante GOODWE.

Figura 103 – Resultado extraído via software de monitoramento em *loco* na saída do inversor do gerador.



Fonte: Goodwe (2023).

O valor de potência na saída do inversor extraído pelo aplicativo de monitoramento GOODWE mostrado na Fig. 104.

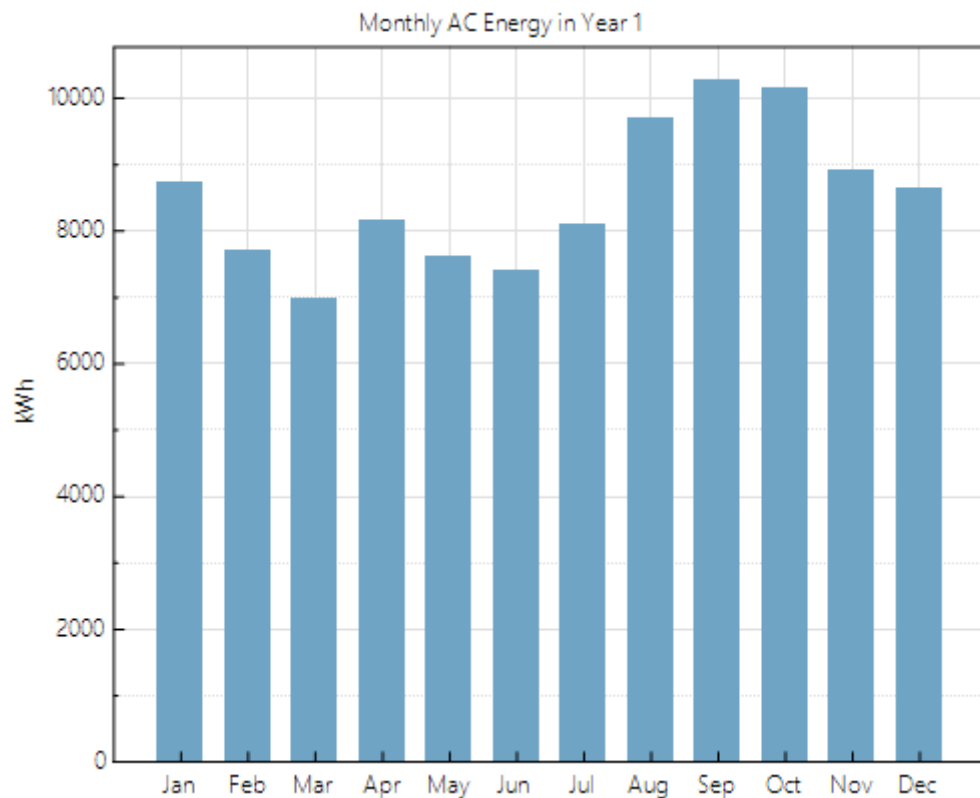
Figura 104 – Resultado extraído via software de monitoramento em *loco* na saída do inversor do gerador 07 para o mês de julho.

Gráfico de linha mostrando a potência (kW) ao longo de 24 horas. O eixo Y representa a potência em kW, com marcas em 0, 6, 13, 20, 27 e 34. O eixo X representa o tempo em horas, com marcas de 1 a 23. A curva mostra uma tendência de aumento da potência a partir das 6h, atingindo um pico de aproximadamente 30 kW por volta das 10h, e depois diminui, chegando a zero por volta das 18h.

Fonte: Goodwe (2023).

Levando em consideração a perdas sobre o gerador fotovoltaico o software mensura a produção de energia mensalmente. O gráfico na Fig. 105 abaixo mostra o índice de energia produzida por mês do gerador fotovoltaico e de observar que os meses de maior produção de energia são os meses de agosto 9.800 KWh, setembro 10.200 KWh e outubro com 10.100 KWh que coincide com período de maior nível de irradiância. E os meses de junho e julho geram respectivamente 7.400 KWh e 8.100 KWh. No mês de novembro 8900 KWh e dezembro 8500 KWh.

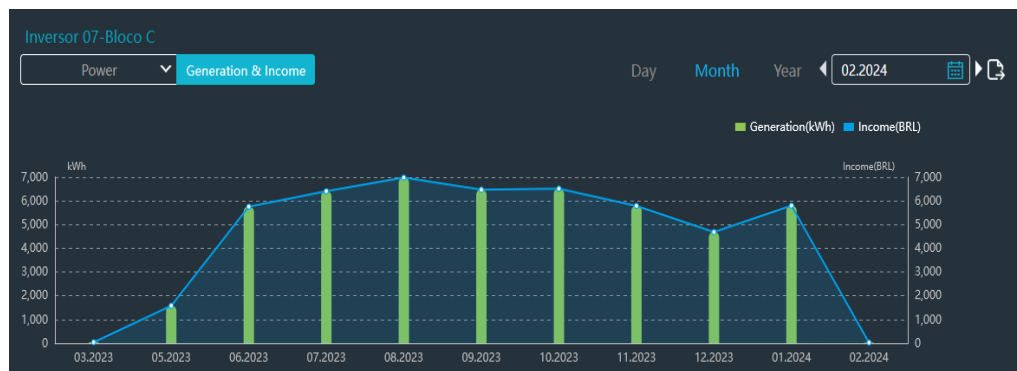
Figura 105 – Resultado da simulação da geração energética mensal durante 12 meses para o gerador
07



Fonte: SAM (2023).

É mostrado abaixo na Fig. 106, os valores energéticos obtidos via software de monitoramento do inversor de junho a dezembro.

Figura 106 – Resultado da geração energética para os meses de junho e julho via software de monitoramento em *loco* no inversor gerador 07.



Fonte: Goodwe (2023).

A tabela 7, abaixo faz um comparativo entre o valor energético obtido via software de monitoramento e o simulado com sua respectiva porcentagem de erro para o gerador 07. E de se observar que nos meses de junho e julho e agosto as taxas de erros foram de -24,5%, -30,5% e -40% respectivamente. Porém nos meses de setembro outubro e novembro a taxa de erro se elevou para -56,9%, -54,1% e -50,8% respectivamente. O mês com maior taxa de erro foi de dezembro com -80%.

Tabela 8– Resultado dos valores reais e simulados e seus respectivos erros médios de junho a dezembro para o gerador 07

		Real (MWh)	SAM (MWh)	Erro (%)
1	Janeiro		8700	
2	Fevereiro		7700	
3	Março		5900	
4	Abril		8100	
5	Maio		7500	
6	Junho	5900	7400	-24,5
7	Julho	6200	8100	-30,6
8	Agosto	7000	9800	-40
9	Setembro	6500	10200	-56,9
10	Outubro	6550	10100	-54,1
11	Novembro	5900	8900	-50,8
12	Dezembro	4700	8500	-80

Fonte: Autor (2023).

A energia anual produzida do gerador 07 é de 96.226 KWh como fator de capacidade de 17,6% e rendimento final(Y) 1.543 KWh/KWh . Mostrado na Fig 107.

Figura 107 – Resultado simulação da geração energética total anual e fator de capacidade gerador 07

Annual AC energy in Year 1	96,226 kWh
DC capacity factor in Year 1	17.6%
Energy yield in Year 1	1,543 kWh/kW

Fonte: SAM (2023).

Gerador 08:

A simulação computacional para o gerador 08 mostrado na Fig 108 , o total de módulos para cada arranjo é calculado através do produto da quantidade de módulos por string e a quantidade de strings em paralelo .Sendo que o gerador 08 possui 04 arranjos conectados na entrada MPPT do inversor solar e o arranjo 01 possui 10 módulos por string e é composto de 3 strings em paralelo o total de módulo é de 30 gerando assim uma tensão de circuito aberto $V_{oc} = 527,0 \text{ V}$ e a tensão de máxima potência de $V_{mpp} = 439,0 \text{ V}$.O arranjo 02 apresenta a configuração elétrica do com 10 módulos na string e 3 strings em paralelo com total de 30 módulos com tensão de circuito aberto $V_{oc} = 527,0 \text{ V}$ e a tensão $V_{mpp} = 439,0 \text{ V}$ o arranjo 3 possui 10 módulos por strings sendo composto de 3 strings em paralelo com um total de módulos de 30 gerando assim uma tensão de circuito aberto $V_{oc} = 527,0 \text{ V}$ e a tensão e máxima potência de $V_{mpp} = 439,0 \text{ V}$. O arranjo 04 apresenta a configuração elétrica do com 10 módulos na string e 1 strings em paralelo com total de 30 módulos com tensão de circuito aberto $V_{oc} = 527,0 \text{ V}$ e a tensão $V_{mpp} = 439,0 \text{ V}$.

Figura 108– Resultado da geração de tensão de circuito aberto V_{oc} e máxima potência V_{mpp} no gerador 08.

-Electrical Configuration-	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☒ Enable
Modules per string in subarray	10	10	10	10
Strings in parallel in subarray	3	3	3	1
Number of modules in subarray	30	30	30	10
String Voc at reference conditions (V)	527.0	527.0	527.0	527.0
String Vmp at reference conditions (V)	439.0	439.0	439.0	439.0
-Tracking & Orientation-				
Inverter MPPT input for subarray	1	2	3	4

Fonte: SAM (2023).

Na Fig. 109, abaixo apresenta o resultado da capacidade de potência máxima que o gerador 05 pode gerar. Em termo de potência a capacidade máxima é de 44,559 KW com a quantidade de 100 módulos com total de 10 strings ocupando uma área 201,900 m².

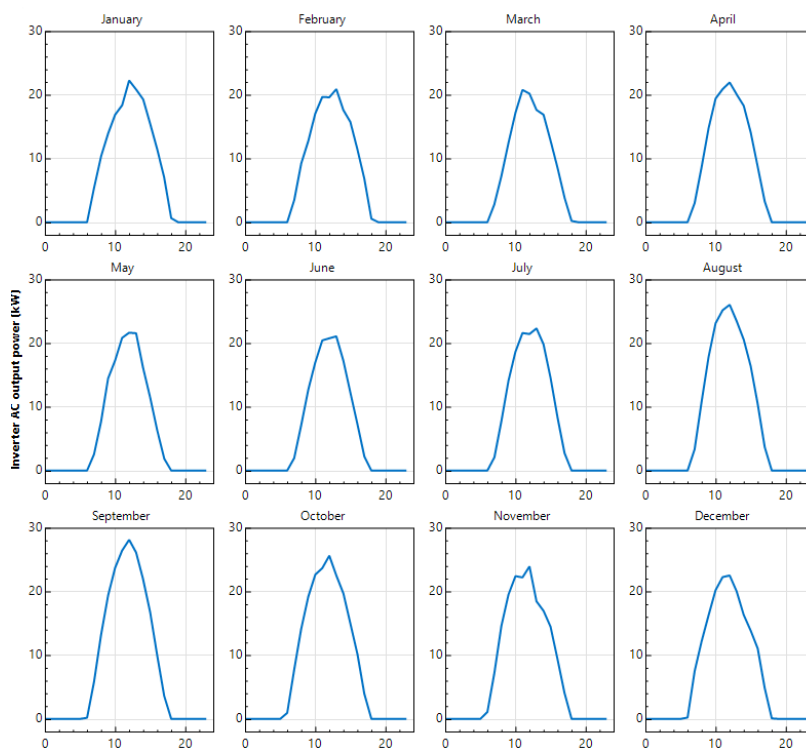
Figura 109 – Resultado da potência do arranjo e do inversor e o número de módulos e a área total necessária para o gerador 08.

Sizing Summary			
Nameplate DC capacity	44.559 kWdc	Number of modules	100
Total AC capacity	36.000 kWac	Number of strings	10
Total inverter DC capacity	36.623 kWdc	Total module area	201.900 m ²

Fonte: SAM (2023).

Abaixo na Fig. 110, é mostrada por mês durante o ano a energia gerada na saída do inversor solar do gerador 08. E de se observar que os meses de maior irradiância solar o inversor gera as maiores potências. No mês de agosto é gerado a média de 26 KW em setembro 29 KW e outubro 26 KW. No mês de junho e valor de potência de saída 22 KW e julho 23 KW.

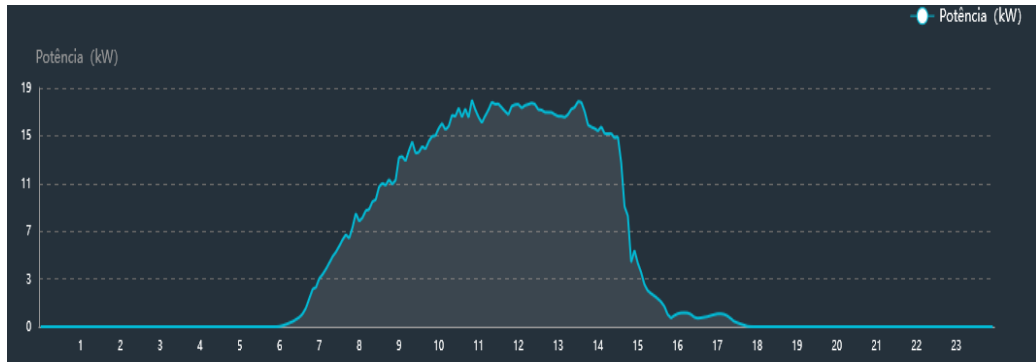
Figura 110 – Resultado da simulação a potência gerada na saída do inversor gerador 08.



Fonte: SAM (2023).

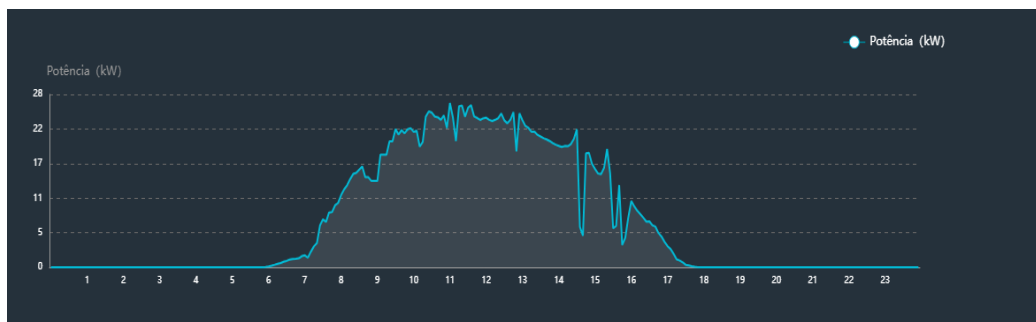
Abaixo é mostrado a curva de potência gerada na saída do inversor pelo aplicativo do fabricante GOODWE mostrado na Fig. 111.

Figura 111 – Resultado extraído via software de monitoramento em *loco* na saída do inversor do gerador 08 .



Fonte: Goodwe (2023).

Na Fig. 112 mostra a curva de potência na saída do inversor via software de monitoramento.



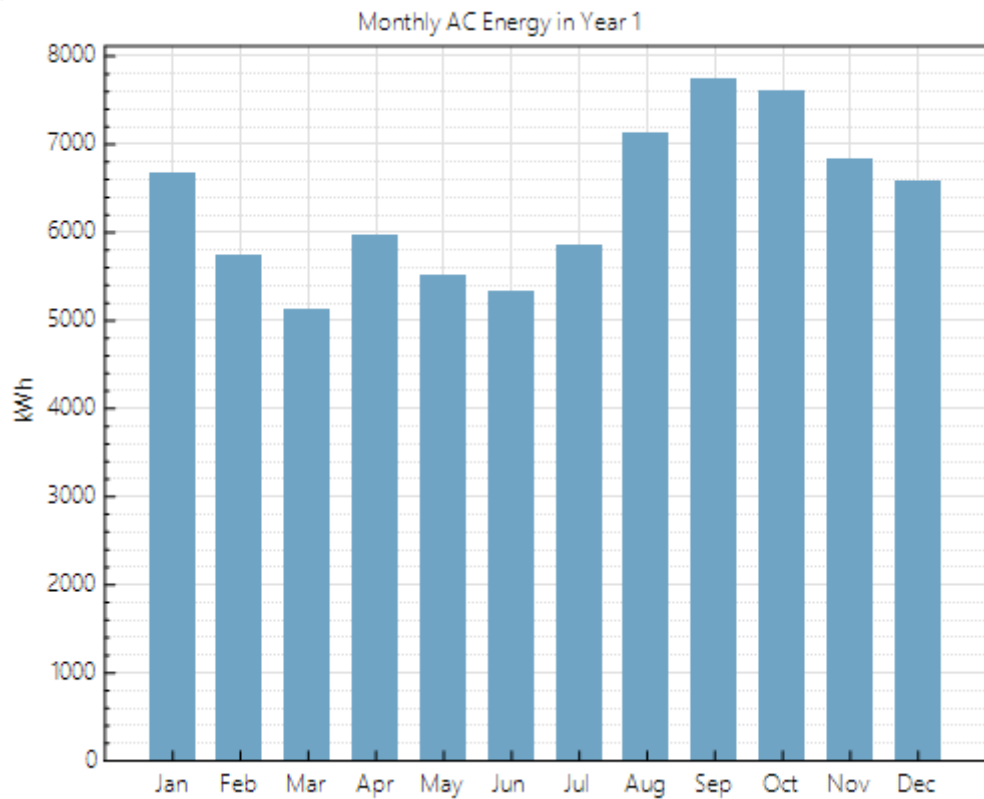
Fonte: Goodwe (2023).

Levando em consideração a perdas sobre o gerador fotovoltaico o software mensura a produção de energia mensalmente. O gráfico mostrado na Fig. 113, abaixo mostra o índice de energia produzida por mês do gerador fotovoltaico e de observar que os meses de maior produção de energia é nos meses de setembro com 7.700 KWh de agosto 7.200 KWh e outubro

7.600 KWh que coincide com período de maior nível de irradiância e o mês de junho e julho foram gerados 5.300 KWh e 5.700 KWh respectivamente. Em novembro foi gerado 6700KWh e dezembro 6500 KWh.

Figura 113 – Resultado da simulação da geração energética mensal durante 12 meses para o gerador

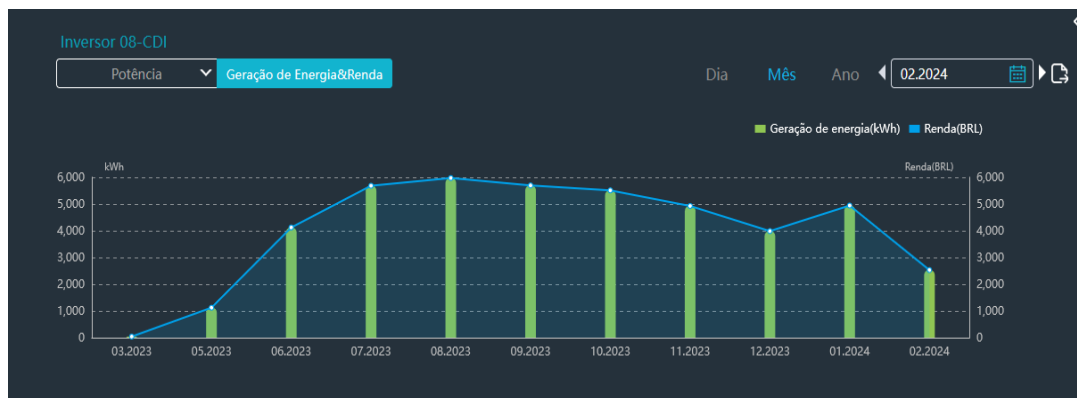
08



Fonte: SAM (2023).

É mostrado abaixo na Fig. 114, os valores energéticos obtidos via software de monitoramento do inversor de junho a dezembro.

Figura 114 – Resultado da geração energética para os meses de junho a dezembro via software de monitoramento em *loco* no inversor gerador 08.



Fonte: Goodwe (2023).

A tabela 8, abaixo faz um comparativo entre o valor energético obtido via software de monitoramento e o simulado com sua respectiva porcentagem de erro para o gerador 08. E de se observar que nos meses de junho e junho e agosto as taxas de erros foram de -32,5%, -1,72 % e -20 % respectivamente. Porém nos meses de setembro outubro e novembro a taxa de erro se elevou para -35%, -35,7% e -34% respectivamente. O mês com maior taxa de erro foi de dezembro com -62,5%.

Tabela 9– Resultado dos valores reais e simulados e seus respectivos erros médios de junho a dezembro para o gerador 08.

		Real (MWh)	SAM (MWh)	Erro (%)
1	Janeiro		6700	
2	Fevereiro		5700	
3	Março		5100	
4	Abril		5900	
5	Maio		5500	
6	Junho	4000	5300	-32,5
7	Julho	5800	5700	1,72
8	Agosto	6000	7200	-20
9	Setembro	5700	7700	-35
10	Outubro	5600	7600	-35,7
11	Novembro	5000	6700	-34
12	Dezembro	4000	6500	-62,5

Fonte: Autor (2023).

A energia anual produzida do gerador 08 é de 53.226 KWh como fator de capacidade de 13,7% e rendimento final(Y) 1.200 KWh/KWh . Mostrado na Fig 115.

Figura 115 – Resultado simulação da geração energética total anual e fator de capacidade gerador 08

Annual AC energy in Year 1	53,486 kWh
DC capacity factor in Year 1	13.7%
Energy yield in Year 1	1,200 kWh/kW

Fonte: SAM (2023).

Gerador 09:

A simulação computacional mostrada na Fig 116, para o gerador 09 , o total de módulos para cada arranjo é calculado através do produto da quantidade de módulos por string e a quantidade de strings em paralelo .Sendo que o gerador 09 possui 03 arranjos conectados na entrada MPPT do inversor solar e o arranjo 01 possui 10 módulos por string e é composto de 3 strings em paralelo o total de módulo é de 30 gerando assim uma tensão de circuito aberto $V_{oc} = 527,0 \text{ V}$ e a tensão de máxima potência de $V_{mpp} = 439,0 \text{ V}$.O arranjo 02 apresenta a configuração elétrica do com 10 módulos na string e 3 strings em paralelo com total de 30 módulos com tensão de circuito aberto $V_{oc} = 527,0\text{V}$ e a tensão $V_{mpp} = 439,0 \text{ V}$ o arranjo 3 possui 12 módulos por strings sendo composto de 2 strings em paralelo com um total de módulos de 24 gerando assim uma tensão de circuito aberto $V_{oc} = 632,4 \text{ V}$ e a tensão e máxima potência de $V_{mpp} = 526,8 \text{ V}$.

Figura 116 – Resultado da geração de tensão de circuito aberto V_{oc} e máxima potência V_{mpp} no gerador 09.

-Electrical Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	10	10	12	
Strings in parallel in subarray	3	3	2	
Number of modules in subarray	30	30	24	
String Voc at reference conditions (V)	527.0	527.0	632.4	
String Vmp at reference conditions (V)	439.0	439.0	526.8	
-Tracking & Orientation				
Inverter MPPT input for subarray	1	2	3	

Fonte: SAM (2023).

A Fig 117, abaixo apresenta o resultado da capacidade de potência máxima que o gerador 05 pode gerar. Em termo de potência a capacidade máxima é de 37,429 KW com a quantidade de 84 módulos com total de 8 strings ocupando uma área 168,00 m².

Figura 117 – Resultado da potência do arranjo e do inversor e o número de módulos e a área total necessária para o gerador 09

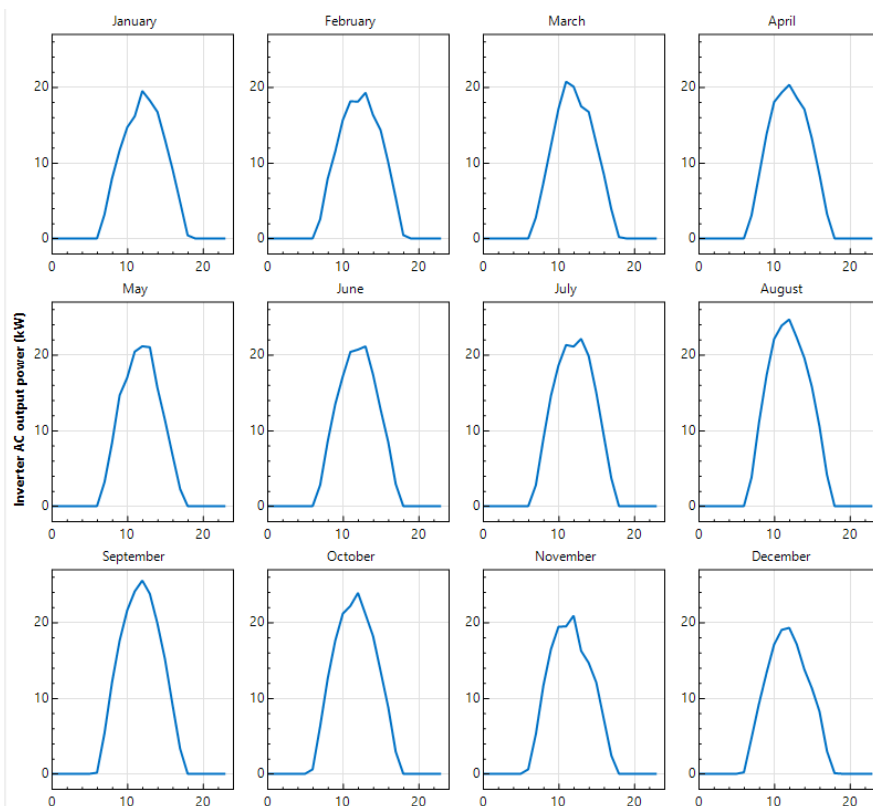
Sizing Summary

Nameplate DC capacity	37.429	kWdc	Number of modules	84
Total AC capacity	30.000	kWac	Number of strings	8
Total inverter DC capacity	30.519	kWdc	Total module area	168.000 m ²

Fonte: SAM (2023).

Abaixo na Fig. 118, é mostrada por mês durante o ano a energia gerada na saída do inversor solar do gerador 08. E de se observar que os meses de maior irradiância solar o inversor gera as maiores potências. No mês de agosto é gerado a média de 24,5 KW em setembro 25,5 KW e outubro 24,5 KW. No mês de junho e valor de potência de saída 21 KW e julho 22,5 KW.

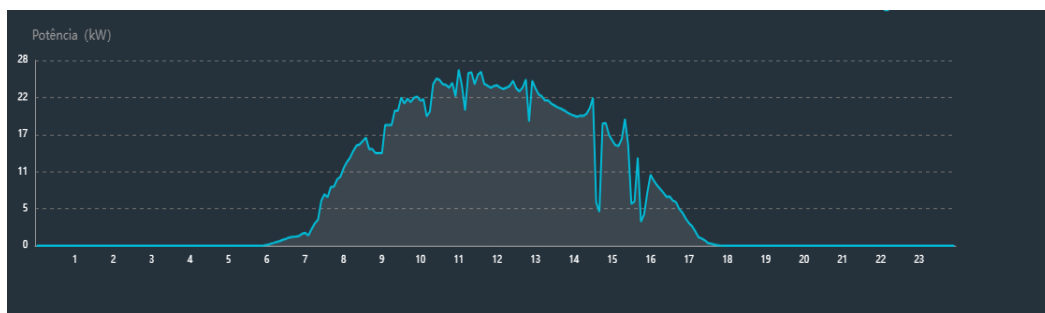
Figura 118 – Resultado da simulação a potência gerada na saída do inversor gerador 09.



Fonte: SAM (2023).

O valor de potência para o mês na saída do inversor corresponde a um valor aproximado de 22 KW mostrado na Fig. 119.

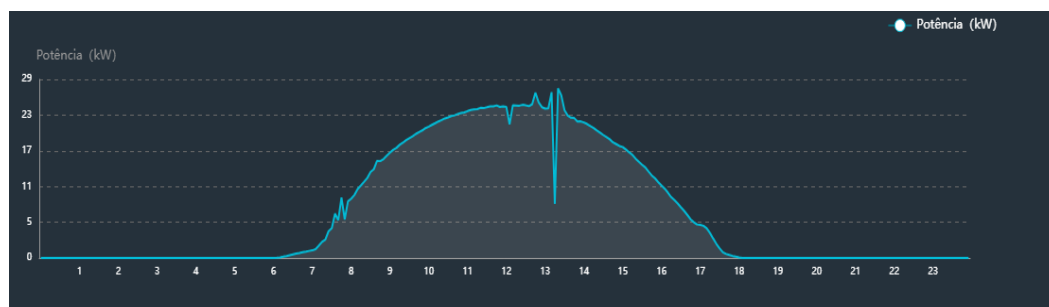
Figura 119 – Resultado extraído via software de monitoramento em *loco* na saída do inversor do gerador 09.



Fonte: Goodwe (2023).

O valor segunda amostra de potência na saída do inversor corresponde a um valor aproximado de 23 KW mostrado na Fig. 120.

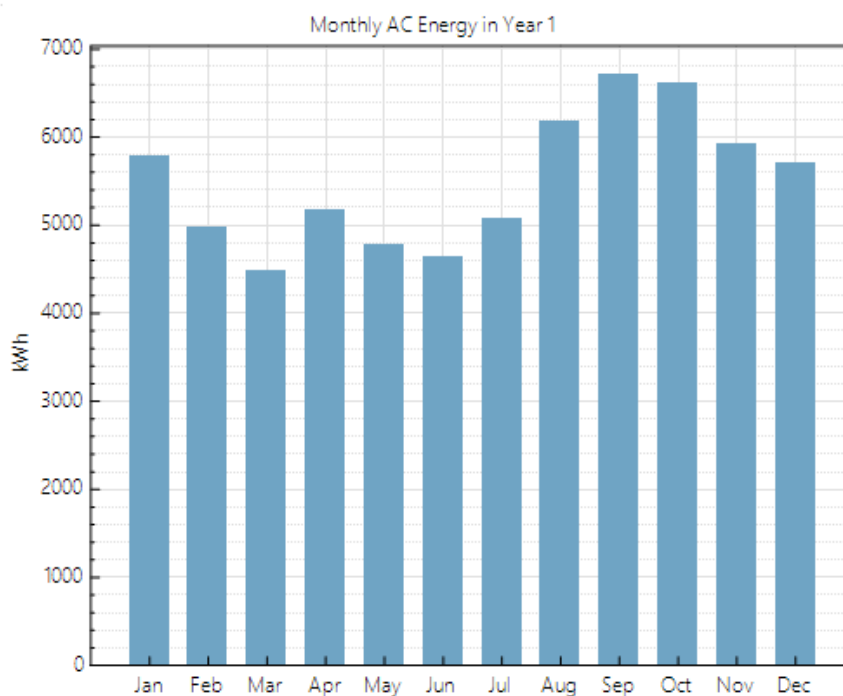
Figura 120 – Resultado extraído via software de monitoramento em *loco* na saída do inversor do gerador 09.



Fonte: Goodwe (2023).

Levando em consideração a perdas sobre o gerador fotovoltaico o software mensura a produção de energia mensalmente. O gráfico abaixo na Fig. 121, mostra o índice de energia produzida por mês do gerador fotovoltaico e de observar que o mês de maior produção de energia é no mês de agosto com 6.200 KWh setembro 6.700 KWh e outubro 6.600 KWh que coincide com período de maior nível de irradiância e nos meses de junho e julho foi gerado valor respectivamente de 4.500 KWh e 5.100 KWh. Em novembro foi gerado 5900 KWh e dezembro 5700 KWh.

Figura 121 – Resultado da simulação da geração energética mensal durante 12 meses para o gerador 09.

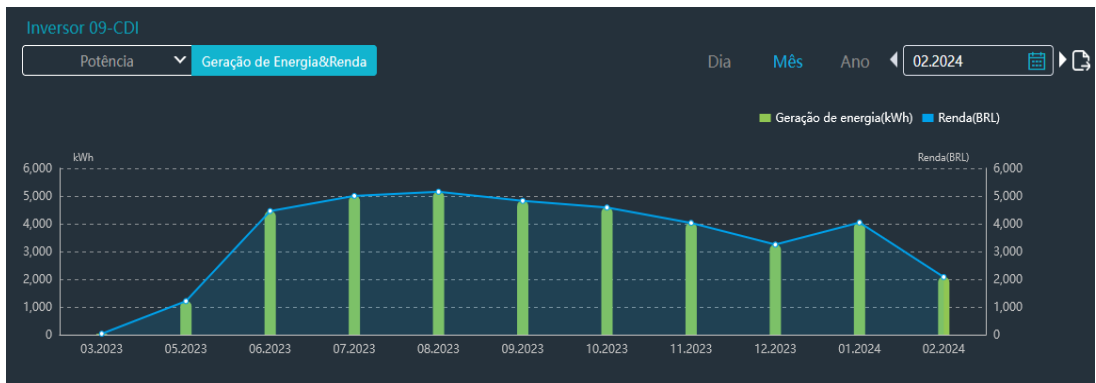


Fonte: SAM (2023).

Figura 121 – Resultado da geração energética para os meses de junho e julho via software de monitoramento em *loco* no inversor gerador 09.

É mostrado abaixo na Fig. 122, os valores energéticos obtidos via software de monitoramento do inversor de junho a dezembro.

Figura 122 – Resultado da geração energética para os meses de junho e julho via software de monitoramento em *loco* no inversor gerador 09.



Fonte: Goodwe (2023).

A tabela 9, abaixo faz um comparativo entre o valor energético obtido via software de monitoramento e o simulado com sua respectiva porcentagem de erro para o gerador 09. E de se observar que nos meses de junho e junho e agosto as taxas de erros foram de -4,65%, -2 % e -19,2 % respectivamente. Porém nos meses de setembro outubro e novembro a taxa de erro se elevou para -34%, -43,47% e -47,5% respectivamente. O mês de dezembro a taxa de erro foi 40,7%.

Tabela 10– Resultado dos valores reais e simulados e seus respectivos erros médios de junho a dezembro para o gerador 09.

		Real (MWh)	SAM (MWh)	Erro (%)
1	Janeiro		5800	
2	Fevereiro		5000	
3	Março		4400	
4	Abril		5200	
5	Maio		4700	
6	Junho	4300	4500	-4,65
7	Julho	5000	5100	-2
8	Agosto	5200	6200	-19,2
9	Setembro	5000	6700	-34
10	Outubro	4600	6600	-43,47
11	Novembro	4000	5900	-47,5
12	Dezembro	4050	5700	-40,7

Fonte: Autor (2023).

A energia anual produzida do gerador 04 é de 51.539 KWh como fator de capacidade de 15,7% e rendimento final(Y) 1.377 KWh/KWh . Mostrado na Fig 123.

Figura 123 – Resultado simulação da geração energética total anual e fator de capacidade gerador 09

Annual AC energy in Year 1	51,539 kWh
DC capacity factor in Year 1	15.7%
Energy yield in Year 1	1,377 kWh/kW

Fonte: SAM (2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para estimar a produção energética gerada pelos 9 geradores fotovoltaicos instalados na cobertura do Campus CMDI foi realizado simulações computacionais em conformidade com manual descritivo disponibilizado pela empresa que realizou o projeto e instalação. Porém durante o processo observou-se algumas inconsistências em entre o manual descritivo e a instalação em loco. A primeira inconsistência foi verificada no gerador 5 onde foi visto que arranjo possui 2 módulos adicionais. A segunda inconsistência verificada foi no Gerador 08 onde havia 2 módulos a menos. Porém todos os 9 geradores fotovoltaicos apresentaram meses com baixa taxas de erros como junho e julho e outros meses com elevadas taxas de erros.

6 TRABALHOS FUTUROS

Entendendo que alguns fatores extraídos para a simulação computacional devem ser analisados de forma mais aprofundada para aprimorar a exatidão dos valores simulados:

- Analisar a inclinação dos módulos de cada gerador fotovoltaico assim melhorando a exatidão dos valores simulados;
- Extrair em *loco* a temperatura real de aquecimento dos módulos fotovoltaicos;
- Verificar o porquê da compatibilidade entre o diagrama elétrico unifilar disponibilizado pela empresa e configuração real instalada;
- Analisar de forma mais detalhada as métricas de indicação de viabilidade do projeto fotovoltaico como fator de capacidade, rendimento final (Y) e performance ratio (PR).
- Verificar a discrepância entre os valores simulados e os obtidos via software de monitoramento

REFERÊNCIAS

- Adefarati e Bansal. **Optimal energy management, technical, economic, social, political and environmental benefit analysis of a grid-connected PV/WT/FC hybrid energy system.** (2019).
- Almerão et al. **ESTUDOS DA METODOLOGIAS DE MEDIÇÃO E ANÁLISE DE DISPERSÃO ESPACIAL DA RADIAÇÃO SOLAR EM AREAS DE USINAS FOTOVOLTAICAS,** (2014).
- Almonacid et.al. **Calculation of the energy provided by a PV generator. Comparative study: Conventional methods vs. artificial neurais networks.** (2011).
- Beltrão. **EFEITO DE TEMPERATURA NA GERAÇÃO DE ENERGIA DOS MODULOS FOTOVOLTAICOS SUBMETIDO AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DISTINTAS. ESTUDO DE CASO PARA AS LOCALIDADES RECIFE E ARARIPINA.** (2008)
- Blue Sol. **CURSO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.** (2019).
- C.Has-Casas et.al . **Classification of methods for annual energy harvesting calculations of photovoltaic generators** (2014).
- CRESESB.http://www.cresesb.cepel.br/index.php?Section=com_content&lang. (2023).
- Dantas e Guerra et al. **SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: ANÁLISE DE PERDAS POR MISMATCH.** (2021).
- Enphase.<https://enphase.com/download/pv-module-and-inverter-ratings-iq8-series-tech-brief#:~:text=Any%20deviation%20from%20STC%20conditions,that%20relationships%20is%20inversely%20correlated>. (2023)
- Glawcal.<http://www.glawcal.org.uk/news/energy-crisis-makes-brazil-turn-to-solar-power> (2015).
- Galdino. **MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS** (2014).
- GOODWE. GoodWe Smart Energy Management System (SEMS). 2023.
- GovernmentBrazil. <https://www.gov.br/en/government-of-brazil/latest-news/2022/renewable-energy> (2022).
- Melo Francisca. **INSTALADOR DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.** (2018)

Navitassolar. <http://www.navitassolar.com> . (2022).

NREL. NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. (2023)

ONESOL <https://onesol.com.br/f/mismatch-nas-instala%C3%A7%C3%B5es-fotovoltaicas>. (2023).

PORTAL SOLAR <https://www.portalsolar.com.br/sistema-energia-solar-off-grid> (2023).

ProstarSolar. <https://www.prostarsolar.net/article/how-to-avoid-the-shadow-effect-on-solar-panels.html> (2020).

PVSYST. https://www.pvsyst.com/help/iam_loss.htm (2023)

Sandia National Laboratories. <https://pvpmc.sandia.gov/modeling-guide/5-ac-system-output/pv-performance-metrics/annual-yield/> (2023)

Sawle e Thirunavukkarasu. TECHNO- ECONOMIC COMPARATIVE ASSESSMENT OFAN OFF-GRID HYBRID RENEWABLE ENERGY SYSTEM FOR ELETRIFICATION OF REMOTE AREA, (2021).

Silvera Henrique. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E IRRADIÂNCIA DOS PARÂMETROS ELÉTRICOS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS, (2020).

SolarSena. <https://solarsena.com/solar-capacity-factor-states-power/> .(2018).

Soteris e Kalogirou. SOLAR ENERGY ENGINEERING, (2019).

U.S DEPARTAMENT ENERGY. <https://www.energy.gov>.(2023)

Villalva e Gazoli. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA CONCEITO E APLICAÇÕES SISTEMAS ISOLADOS E CONECTADOS A REDE. (2012).

ANEXOS

ANEXOS A – Datasheet Módulos Jäger plus RSM156-6-425M-445M



Jäger Plus
HIGH PERFORMANCE
MONOCRYSTALLINE PERC MODULE

156

G2.3

RSM156-6-425M-445M

156 CELL Mono PERC Module	425-445Wp Power Output Range
1500VDC Maximum System Voltage	20.5% Maximum Efficiency

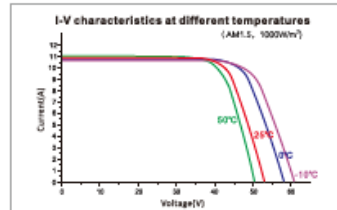
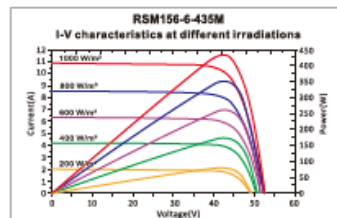
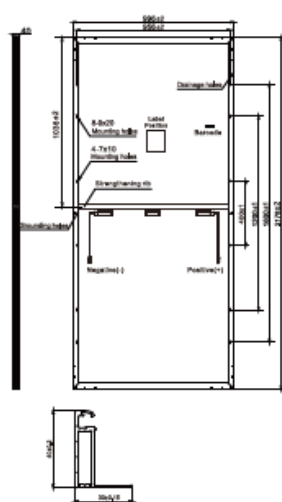
KEY SALIENT FEATURES

-  Global, Tier 1 bankable brand, with independently certified state-of-the-art automated manufacturing
-  Industry leading lowest thermal co-efficient of power
-  Industry leading 12 years product warranty
-  Excellent low irradiance performance
-  Excellent PID resistance
-  Positive tight power tolerance
-  Dual stage 100% EL Inspection warranting defect-free product
-  Module Imp binning radically reduces string mismatch losses
-  Warranted reliability and stringent quality assurances well beyond certified requirements
-  Certified to withstand severe environmental conditions
 - Anti-reflective & anti-soiling surface minimise power loss from dirt and dust
 - Severe salt mist, ammonia & blown sand resistance, for seaside, farm and desert environments
 - Excellent mechanical load 2400Pa & snow load 5400Pa resistance

RISEN ENERGY CO., LTD.
Risen Energy is a leading, global tier 1 manufacturer of high-performance solar photovoltaic products and provider of total business solutions for residential, commercial and utility-scale power generation. The company, founded in 1986, and publicly listed in 2010, compels value generation for its chosen global customers. Techno-commercial innovation, underpinned by consummate quality and support, encircle Risen Energy's total Solar PV business solutions which are among the most powerful and cost-effective in the industry. With local market

Certifications and Logos: ISO, BQ9001, IEC 61215, IEC 61701, CE, CQC, TUV, and others.

Dimensions of PV Module Unit:mm

**ELECTRICAL DATA (STC)**

Model Number	RSM156-6-425M	RSM156-6-430M	RSM156-6-435M	RSM156-6-440M	RSM156-6-445M
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	425	430	435	440	445
Open Circuit Voltage-Voc(V)	52.23	52.38	52.50	52.62	52.70
Short Circuit Current-Isc(A)	10.38	10.47	10.57	10.67	10.77
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	43.50	43.60	43.70	43.80	43.90
Maximum Power Current-Imp(A)	9.78	9.87	9.97	10.06	10.15
Module Efficiency (%) *	19.6	19.8	20.1	20.3	20.5

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.

* Module Efficiency (%): Round-off to the nearest number

ELECTRICAL DATA (NMOT)

Model Number	RSM156-6-425M	RSM156-6-430M	RSM156-6-435M	RSM156-6-440M	RSM156-6-445M
Maximum Power-Pmax (Wp)	318.0	321.8	325.5	329.3	332.9
Open Circuit Voltage-Voc (V)	48.10	48.20	48.30	48.40	48.48
Short Circuit Current-Isc (A)	8.51	8.59	8.67	8.75	8.83
Maximum Power Voltage-Vmpp (V)	39.80	39.90	40.00	40.10	40.24
Maximum Power Current-Imp (A)	7.98	8.06	8.13	8.21	8.27

NMOT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Solar cells	Monocrystalline, 9BB
Cell configuration	156 cells (6×13+6×13)
Module dimensions	2178×996×40mm
Weight	25.5kg
Superstrate	High Transmission, Low Iron, Tempered ARC Glass
Substrate	White Back-sheet
Frame	Anodized Aluminium Alloy type 6063T5, Silver Color
J-Box	Potted, IP68, 1500VDC, 3 Schottky bypass diodes
Cables	4.0mm² (12AWG), Positive(+)270mm, Negative(-)270mm
Connector	Risen Twinsel PV-SY02, IP68

TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS

Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	45°C±2°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.29%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.05%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.37%/°C
Operational Temperature	-40°C~+85°C
Maximum System Voltage	1500VDC
Max Series Fuse Rating	20A
Limiting Reverse Current	20A

ANEXOS B – Datasheet Inversor GOODWE

LV MT Series Datasheet


GOODWE

Technical Data	GW30KLV-MT	GW35KLV-MT	GW50KLV-MT
DC Input Data			
Max. PV Power (W)	54000	63000	90000
Max. DC Input Voltage (V)	800	800	800
MPPT Range (V)	200~650	200~650	200~650
Starting Voltage (V)	200	200	200
Min. Feed-in Voltage (V)	210	210	210
Nominal DC Input Voltage (V)	370	370	370
Max. Input Current per MPPT (A)	33/33/22/22	33	44
Max. Short Circuit Current per MPPT (A)	41.5/41.5/27.5/27.5	41.5	55
No. of MPPT Trackers	4	4	4
No. of Input Strings per Tracker	3/3/2/2	3	4
AC Output Data			
Nominal Output Power (W)	30000	35000	50000
Max. AC Active Power (cosφ=1)	28800@208VAC	34500@208VAC	47300@208VAC
	33000@240VAC	39900@240VAC	55000@240VAC
Max. Output Apparent Power (VA)	33000	39900	55000
Nominal Output Voltage (V)	150-300	150-300	150-300
Nominal Output Frequency (Hz)	50/60	50/60	50/60
Max. Output Current (A)	80	96	133
Output Power Factor	~1 (Adjustable from 0.8 leading to 0.8 lagging)		
Output THDi (@Nominal Output)	<3%	<3%	<3%
Efficiency			
Max. Efficiency	98.7%	98.8%	98.7%
European Efficiency	98.3%	98.5%	98.3%
Protection			
PV String Current Monitoring	Integrated	Integrated	Integrated
Anti-Islanding Protection	Integrated	Integrated	Integrated
Input Reverse Polarity Protection	Integrated	Integrated	Integrated
Insulation monitoring	Integrated	Integrated	Integrated
DC fuse	Integrated	Integrated	Integrated
Anti-PID Function for Module	Optional	Optional	Optional
DC Surge Arrester	Integrated (Type II)		
AC Surge Arrester	Integrated (Type II)		
Residual Current Monitoring Unit	Integrated	Integrated	Integrated
AC Over Current Protection	Integrated	Integrated	Integrated
AC Short Circuit Protection	Integrated	Integrated	Integrated
AC Over Voltage Protection	Integrated	Integrated	Integrated
General Data			
Ambient Temperature Range (°C)	-30~60	-30~60	-30~60
Relative Humidity	0~100%	0~100%	0~100%

GoodWe String inverter page 2021 12.06-EN-V5.0. Information may be subject to change without notice during product improving.