

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

BRUNO HENRIQUE TONON

**USINA FOTOVOLTAICA FLUTUANTE PARA OPERAÇÃO COORDENADA COM
UMA USINA HIDRELÉTRICA (UHE) NO PARANÁ.**

CAMPO MOURÃO

2022

BRUNO HENRIQUE TONON

**USINA FOTOVOLTAICA FLUTUANTE PARA OPERAÇÃO COORDENADA COM
UMA USINA HIDRELÉTRICA (UHE) NO PARANÁ.**

**Floating photovoltaic plant for coordinated operation with a hydroelectric
power plant (HPP) in Paraná.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação,
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Ambiental da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR), campus Campo Mourão.

Orientador (a): Prof. Dra. Maria Cristina Rodrigues
Halmeman.

CAMPO MOURÃO

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

BRUNO HENRIQUE TONON

**USINA FOTOVOLTAICA FLUTUANTE PARA OPERAÇÃO COORDENADA COM
UMA USINA HIDRELÉTRICA (UHE) NO PARANÁ.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação,
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Ambiental da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR), campus Campo Mourão.

Data de aprovação: 30/Novembro/2022

Maria Cristina Rodrigues Halmeman
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão

Radames Juliano Halmeman
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão

José Hilário Delconte Ferreira
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão

CAMPO MOURÃO

2022

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer em primeiro lugar a Deus, por ter me dado saúde, força e sabedoria para superar todos os obstáculos pelo caminho. Agradeço também aos meus pais e irmão que sempre me apoiaram e me ajudaram nesta caminhada pela UTFPR, aos meus avôs que além de me apoiar me acolheram na casa deles durante boa parte deste período e a todos familiares e amigos que sempre estiveram juntos.

Gostaria de agradecer a universidade e a todos os professores pelo aprendizado adquirido em todos esses anos de formação e em especial a Prof. Dra. Maria Cristina Rodrigues Halmeman pela orientação, apoio, confiança e por me mostrar o caminho diversas vezes durante o trabalho de conclusão de curso.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

Nos últimos anos o Brasil vem enfrentado sérios problemas com a escassez hídrica, devido às mudanças climáticas e ao aumento da demanda energética. Sendo que as hidrelétricas são responsáveis por mais da metade da energia elétrica gerada no país, dominando a matriz energética brasileira. Arelado a isso, esta a necessidade da busca por fontes alternativas de energia e uma das opções mais viáveis na atualidade é a energia fotovoltaica, que é uma energia limpa e sustentável, além de apresentar impacto ambiental reduzido, seu custo é baixo se comparado a outras fontes de energia, como as termelétricas e term nucleares. Já os reservatórios das usinas hidrelétricas possuem uma grande área disponível, o que pode tornar viável a instalação de uma usina fotovoltaica flutuante para trabalhar em operação coordenada com a hidrelétrica, e assim, em períodos de escassez hídrica o sistema fotovoltaico pode suprir parte da demanda energética utilizando da mesma rede de transmissão. Sendo assim, este trabalho de conclusão de curso buscou dimensionar através da utilização de banco de dados e *softwares* específicos uma proposta de uma usina fotovoltaica flutuante de operação coordenada em área de reservatório da segunda maior usina hidrelétrica do estado do Paraná. Para atingir o objetivo geral deste trabalho utilizaram-se para o dimensionamento os *softwares* QGIS, *Google Earth* e PVsyst. Com os resultados obtidos da área disponível, foi realizado o dimensionamento do sistema em três cenários possíveis de área de instalação da usina fotovoltaica flutuante. Após a executar simulação no *software* PVsyst obteve-se as potências do sistema, energia produzida, irradiação, índice de performance, emissões de CO₂ evitadas, entre outros. Nos resultados destaca-se que a potência instalada na primeira etapa foi de 239,7 MWp e as emissões evitadas foram de 926.027,6 toneladas de CO₂, já na terceira etapa esses valores chegaram a 2.397,0 MWp de potência instalada e 8.756.550,8 de toneladas de CO₂ evitadas. Apresentaram-se também os benefícios ambientais e de operação coordenada da usina fotovoltaica flutuante.

Palavras-chave: energia renovável; reservatório de hidrelétrica; irradiação solar.

ABSTRACT

In recent years, Brazil has faced serious problems with water scarcity, due to climate change and the increase in energy demand. Since hydroelectric plants are responsible for more than half of the electricity generated in the country, dominating the Brazilian energy matrix. Linked to this, this is the need to search for alternative energy sources and one of the most viable options today is photovoltaic energy, which is clean and sustainable energy, in addition to having little environmental impact, its cost is low compared to others energy sources, such as thermoelectric and thermonuclear. On the other hand, the reservoirs of hydroelectric plants have a large area available, which can make it feasible to install a floating photovoltaic plant to work in coordinated operation with the hydroelectric plant, and thus, in periods of water scarcity, the photovoltaic system can supply the energy demand using of the same transmission network. Therefore, this course conclusion work sought to dimension, through the use of database and specific software, a proposal for a floating photovoltaic plant with coordinated operation in the reservoir area of the second largest hydroelectric plant in the state of Paraná. To achieve the general objective of this work, QGIS, Google Earth and PVSyst software were used for dimensioning. With the results obtained from the available area, the sizing of the system was carried out in three possible scenarios of installation area of the floating photovoltaic plant. After running the simulation in the PVSyst software, the system powers, energy produced, irradiation, performance ratio, avoided CO₂ emissions, among others, were obtained. In the results, it is highlighted that the installed power in the first stage was 239.7 MWp and the avoided emissions were 926,027.6 tons of CO₂, in the third stage, these values reached 2,397.0 MWp of installed power and 8,756,550.8 tons of CO₂ avoided. The environmental benefits and coordinated operation of the floating photovoltaic plant were presented.

Keywords: renewable energy; hydroelectric reservoir; solar irradiation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Funcionamento de uma usina hidrelétrica.	18
Figura 2 - Potencial de geração mensal de energia fotovoltaica (kWh/kWp.mês).....	22
Figura 3 - Potencial de geração de energia fotovoltaica anual (kWh/kWp.mês).	22
Figura 4 - Índices de irradiação por região do Paraná.	23
Figura 5 - Sistema de usina fotovoltaica flutuante.....	24
Figura 6 - Usina fotovoltaica flutuante no reservatório de Yamakura no Japão.	25
Figura 7 - Usina fotovoltaica flutuante na província de Ubon Ratchathani, na Tailândia.....	25
Figura 8 - Usina fotovoltaica flutuante em Huainan, na China.....	26
Figura 9 - Usina fotovoltaica flutuante na UHE de Sobradinho, na Bahia.	26
Figura 10 - Layout do software QGIS para produção de mapas.	28
Figura 11 - Localização do município de Pinhão no estado do Paraná.....	30
Figura 12 - Fluxograma metodológico da pesquisa.....	31
Figura 13 - Localização da área de reservatório da UHE B.	32
Figura 14 - Local disponível utilizando 1% da área total para a instalação da UFF. .	33
Figura 15 - Irradiação global no Brasil por dia (Wh/m ² .dia).	34
Figura 16 - Irradiação global no estado do Paraná por dia (Wh/m ² .dia).....	34
Figura 17 - Entrada de dados para simulação do projeto conforme software PVsyst 7.2.	35
Figura 18 - Índice de performance (PR), conforme software PVsyst 7.2.....	37
Figura 19 - Diagrama de perdas por ano.	38
Figura 20 - Envelhecimento do sistema em energia injetada na rede.....	39
Figura 21 - Envelhecimento do sistema em PR.	39
Figura 22 - Economia de emissão de CO ₂ em função do tempo.....	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Percentual da oferta de energia elétrica brasileira.....	17
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sistema de geração fotovoltaico residencial.	20
Quadro 2 - Resultados do dimensionamento do sistema com 1% da área.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Oferta de energia elétrica brasileira.	16
Tabela 2 - Primeiras usinas fotovoltaicas flutuantes.	24
Tabela 3 - Cinco maiores usinas em potência Outorgada no Paraná.	29
Tabela 4 - Área disponível utilizando 1%, 5% e 10%.	33
Tabela 5 - Médias mensais de irradiação global de cada região.....	33
Tabela 6 - Resultado anual da simulação.	36
Tabela 7 - Envelhecimento do sistema.	40
Tabela 8 - Resultados da simulação em três cenários.....	41
Tabela 9 - Total de potência instala da UHE B e UFF.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CHESF	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE	Conselho Nacional de Políticas Energéticas
CO ₂	Dióxido de carbono
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt por hora
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
kg	Quilograma
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt hora
kWh/m ²	Quilowatt hora por metro quadrado
kWp	Quilowatt pico
m ²	Metros quadrado
mm	Milimetro
MME	Ministério de Minas e Energia
MW	Megawatt
MWh	Megawatt por hora
MWh/m ²	Megawatt por hora por metro quadrado
MWp	Megawatt pico
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
OSGeo	Open Source Geospatial Foundation
PNMC	Política Nacional sobre a Mudança do Clima
PR	Performance Ratio
SHP	Shapefile
SIG	Sistema de Informação Geográfica
t	Tonelada
TWh	Terawatt hora

UFF	Usina fotovoltaica flutuante
UFV	Usina fotovoltaica
UHE	Usina hidrelétrica
V	Volt
W	Watt
Wh/m ²	Watt hora por metro quadrado
Wh/m ² .dia	Watt hora por metro quadrado por dia
Wp	Watt pico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo	13
1.1.1	Objetivo Geral.....	13
1.1.2	Objetivo Específico	14
1.2	Justificativa	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	Matriz elétrica brasileira	16
2.2	Usina Hidrelétrica (UHE)	17
2.3	Energia Fotovoltaica	19
2.4	Radiação solar e potencial de geração	21
2.5	Usina fotovoltaica flutuante	23
2.6	Geoprocessamento	27
2.7	Software PVsyst	28
3	MATERIAL E MÉTODOS	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1	Dimensionamento da área de reservatório	32
4.2	Irradiação solar na região	33
4.3	Dimensionamento do sistema	35
4.4	Simulação em três etapas	40
4.5	Operação coordenada	41
4.6	Benefícios ambientais da UFF	42
5	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS	45
	APÊNDICE A – Simulação com 1% da área de reservatório	50
	APÊNDICE B – Simulação com 5% da área de reservatório	69
	APÊNDICE C – Simulação com 10% da área de reservatório	81
	ANEXO A – Manual do modulo	93
	ANEXO B – Manual do inversor	96

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o Brasil tem enfrentado problemas de escassez hídrica, devido às mudanças climáticas e ao aumento da demanda energética. As hidrelétricas são responsáveis por mais da metade da energia elétrica gerada no país, dominando a matriz energética brasileira. Para um bom funcionamento das Usinas Hidrelétricas (UHE) o fator principal é o volume de água nos grandes reservatórios, mas se os níveis baixam muito a geração é comprometida afetando todo o sistema. Para evitar apagões nesses períodos de escassez, as termelétricas são acionadas, com isso, elevando o preço da produção de energia e sendo repassada ao consumidor final até que os níveis dos reservatórios tenham se restabelecido (MENDIETA E HIDALGO, 2019).

Pensando neste cenário, a instalação de sistemas fotovoltaicos tem se tornando cada vez mais vantajosa, devido à evolução da tecnologia e a redução dos custos, o que permitiu que este sistema tivesse um crescimento exponencial nos últimos anos, além de ser uma fonte de energia renovável e limpa. O destaque fica para as usinas fotovoltaicas flutuantes (UFF), que é uma alternativa para suprir parte da demanda energética no período de escassez hídrica nas UHE, uma vez que ambas podem operar em conjunto e elevar a potência instalada. O fato das UHE possuírem grandes reservatórios e uma linha de transmissão já instalada é benéfico para a instalação de uma UFF, além disso, a utilização das placas fotovoltaicas em espelhos d'água tem potenciais ganhos de eficiência e reduz a perda de água por evaporação, além de outros benefícios (EPE, 2020a).

Sendo assim, este estudo busca analisar através da utilização de banco de dados e *softwares* específicos, uma proposta para dimensionar uma UFF de operação coordenada em área de reservatório da segunda maior UHE do estado do Paraná.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a área de reservatório de uma UHE no Paraná como proposta para dimensionar uma usina fotovoltaica flutuante acoplada à rede.

1.1.2 Objetivo Específico

- Dimensionar o total de área de reservatório, apresentando mapas do local disponível para implantação da usina fotovoltaica flutuante;
- Dimensionar a potência instalada de uma usina fotovoltaica flutuante para três cenários;
- Apresentar a potência instalada, estimativa da energia e potência total em operação coordenada para os três cenários com a instalação da usina fotovoltaica flutuante;
- Apresentar os benefícios ambientais com a instalação da usina fotovoltaica flutuante.

1.2 Justificativa

Nos últimos anos o país vem enfrentando problemas motivados pelo aumento da demanda energética e a escassez hídrica, o que se justifica a busca por novas fontes de energia, aproveitando melhor os recursos naturais e renováveis (PEREIRA E NETO, 2020). Uma das opções mais viáveis na atualidade é a energia fotovoltaica, que é uma energia limpa e sustentável, além de apresentar um impacto ambiental muito baixo e possui fácil instalação a sua manutenção e seu custo é baixo se comparado a outras fontes de energia, como as termelétricas e termonucleares. Outro fator relevante é que podem ser aproveitadas áreas disponíveis, como telhados, desertos, reservatórios de água, entre outros (PURIFICAÇÃO, RAMOS E KNISS, 2020).

Os reservatórios das UHE possuem uma grande área disponível, o que pode tornar viável a instalação de uma UFF para operação coordenada e assim, em períodos de escassez hídrica o sistema fotovoltaico pode suprir parte da demanda energética utilizando da mesma rede da hidrelétrica. Um dos benefícios de uma UFF é a capacidade de aproveitar a evaporação da água do reservatório para o resfriamento do sistema e aumentando a sua eficiência energética (ANDRADE *et al.*,2020).

A UHE B que será analisada é administrada pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL), sendo a maior usina pertencente à mesma, localizada no rio Iguaçu. Contudo, a pesquisa busca dimensionar e representar a área de reservatório disponível da UHE através de mapas e calcular a potência instalada e a estimativa da energia gerada com a instalação de uma usina fotovoltaica flutuante, contribuindo

para mais pesquisas científicas sobre a operação coordenada utilizando energia de usinas fotovoltaica e hidrelétricas e assim diversificar a oferta de energia elétrica por fonte renovável.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Matriz elétrica brasileira

O setor de energia elétrica brasileiro é atualmente composto por sete instituições que trabalham em conjunto e que estabelecem políticas e diretrizes, planejamento, regulamentação, execução, prestação de serviços, entre outros. São elas: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), Ministério de Minas e Energia (MME), Conselho Nacional de Políticas Energéticas (CNPE), Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), (MME, 2022).

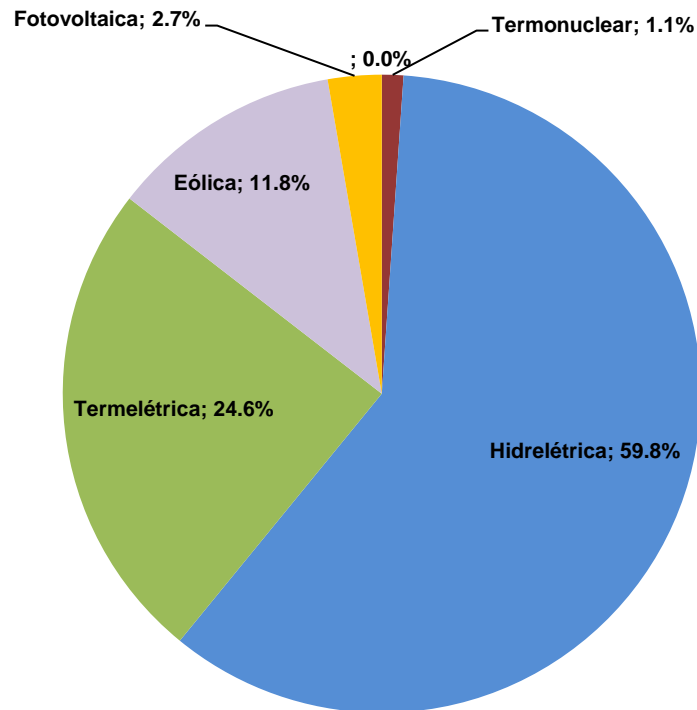
Segundo o EPE (2020b), a geração de energia brasileira conta com 83,7% da geração total vinda de serviços públicos e a hídrica é a principal fonte de produção de energia no Brasil. De acordo com a ANEEL (2022b) a potência outorgada no Brasil é de 247.960.761,22 kW e a potência fiscalizada é de 182.922.445,67 kW, sendo que somente a hídrica corresponde com 59,82% da oferta com 109.426.822,50 kW de potência fiscalizada, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Oferta de energia elétrica brasileira.

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)
Termonuclear	3	3.340.000,00	1.990.000,00
Hidrelétrica	1506	111.537.097,20	109.426.822,50
Termelétrica	3230	54.192.388,81	44.939.183,71
Eólica	1187	34.982.668,86	21.591.378,86
Fotovoltaica	9560	43.908.556,31	4.975.010,61
Undi-elétrica	1	50,00	50,00
Total	15487	247.960.761,22	182.922.445,67

Fonte: Adaptado ANEEL (2022b).

A matriz elétrica brasileira é composta pelas usinas hidrelétricas, termelétricas, termonucleares, eólica, fotovoltaica e undi-elétrica. Fontes renováveis e não renováveis (ANEEL, 2022b). No Gráfico 1 pode-se observar a distribuição dessas fontes de energia.

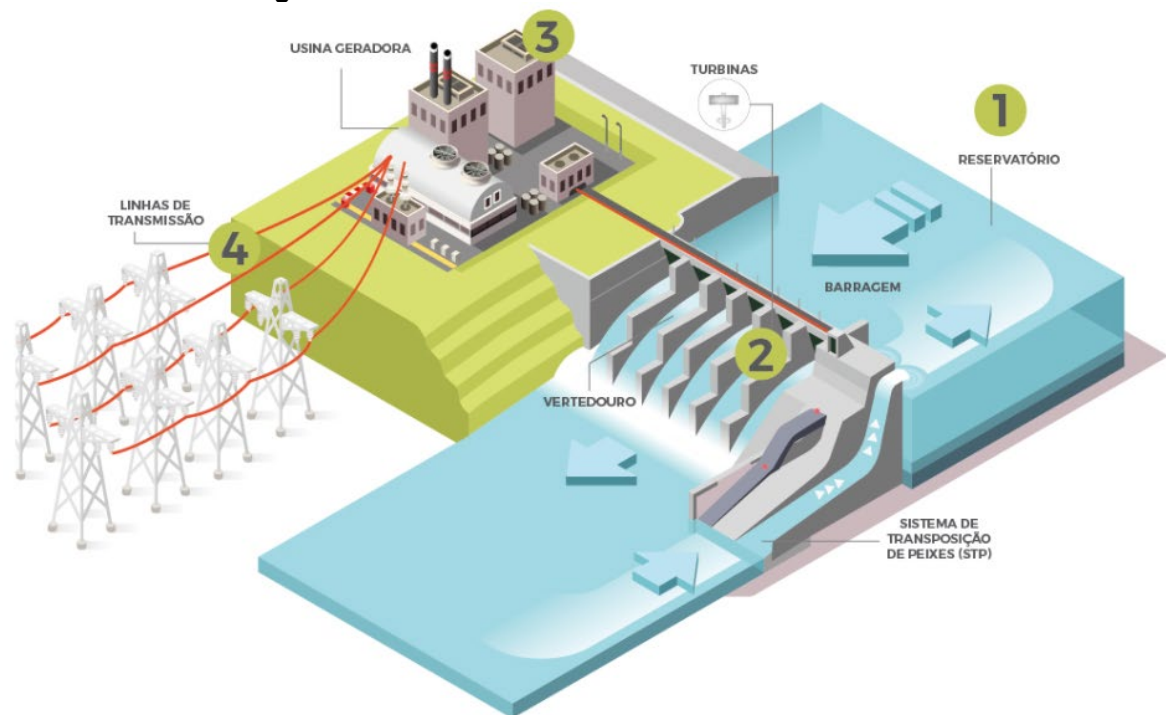
Gráfico 1 - Percentual da oferta de energia elétrica brasileira.

Fonte: Adaptado ANEEL (2022b).

2.2 Usina Hidrelétrica (UHE)

Atualmente o Brasil tem uma das maiores produções de energia elétrica do mundo e possui um grande potencial hidrelétrico devido aos seus recursos hídricos. A maior parte dos rios brasileiros apresenta quedas de água que beneficiam a geração de energia nas usinas hidrelétricas, além disso, devido ao clima tropical em maior parte do Brasil, os rios são predominantemente abastecidos por água das chuvas. As UHE transformam a energia potencial em energia cinética, girando as turbinas e acionando os geradores, e assim, produzindo a energia elétrica (FERREIRA, 2020). Na Figura 1 pode-se observar o funcionamento de uma UHE.

Figura 1 - Funcionamento de uma usina hidrelétrica.



Fonte: Aliança Energia (2022).

Ainda de acordo com o autor as UHE de uma forma geral causam grandes impactos ao meio ambiente, desde a construção até na operação e independente do porte da mesma. Os impactos alteram do meio físico ao biótico e os maiores problemas causados são nas áreas de alagamentos para criação dos reservatórios das usinas, onde altera a correnteza do rio, a fauna e flora, erosão, entre outros. Também existem os problemas econômicos e sociais, onde as famílias ribeirinhas são as mais atingidas, obrigando as mesmas a deixarem suas terras e se adaptarem a outras realidades. Outro impacto significativo, que como consequência tem a perda na qualidade de água, consequentemente a elevação na taxa de incidência de doenças e a desagregação social das comunidades locais.

Para Ferreira (2020), os impactos indiretos também causam grandes alterações, como no crescimento populacional devido à oferta de emprego causada pela construção da usina, onde cidades que não tem a infraestrutura adequada para receber tal população e o aumento do desemprego devido à finalização das obras, contribuindo para o aumento dos problemas sociais dessas cidades. Contudo, há impactos positivos causados nessas obras, como a grande geração de emprego durante a construção, produção de energia limpa, crescimento econômico e desenvolvimento nas cidades próximas.

2.3 Energia Fotovoltaica

Outra fonte de energia que tem grande potencial no Brasil é a energia fotovoltaica, que foi observada pela primeira vez em 1839 pelo físico Frances Edmond Becquerel (1820-1891), onde observou que poderia gerar energia através de duas placas de latão imersas em um eletrólito líquido e expostas ao sol. Atualmente o que compõe os painéis solares é: moldura de alumínio, vidro temperado, película encapsulante, células fotovoltaicas, *back sheet* (fundo protetor) e caixa de fechamento (LAGRIMANTE *et al.* 2018).

Segundo Rella (2017), um sistema de energia solar, também conhecido como sistema fotovoltaico é capaz de gerar energia através da radiação solar e o Brasil é privilegiado em relação à disponibilidade de energia solar, sendo um dos poucos beneficiados do mundo que recebe por ano uma insolação superior a 3000 horas, sendo que apenas no nordeste brasileiro a incidência média diária é de 4,5 a 6 kWh. O que torna o sistema fotovoltaico vantajoso é a fácil instalação e simples manutenção, o que ajuda na adaptação em residências, além de ser uma fonte renovável e limpa.

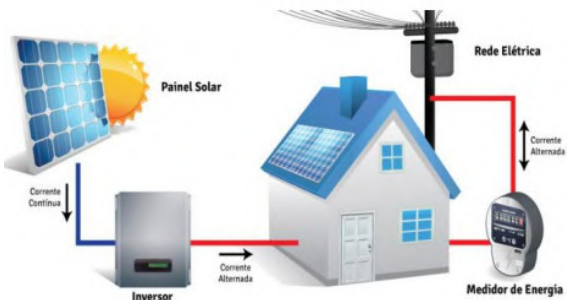
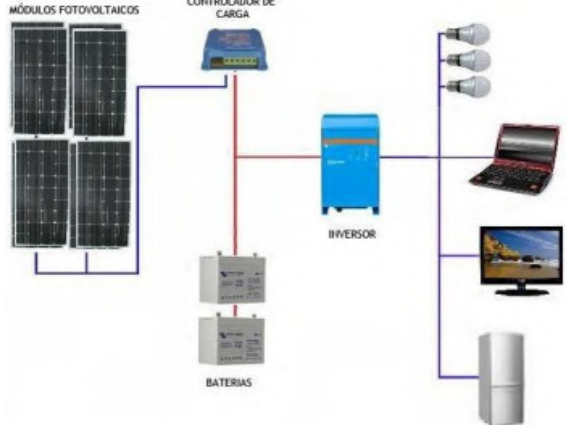
Ainda de acordo com o autor, o potencial fotovoltaico no Brasil é pouco aproveitado, a EPE estima que o potencial de produção possa ser de 283,5 milhões de MW por ano, potência suficiente para abastecer mais que o dobro do consumo doméstico atual. Segundo a ANELL (2022b), neste ano o Brasil ultrapassou a marca de 14,78 *gigawatts* (GW) de potência instalada em sistema fotovoltaico, sendo que 9,9 GW de potência em sistema fotovoltaico de micro e mini geração, somados a 4,88 GW de potência em usinas de grande porte, o que demonstra um crescimento exponencial de energia solar nos últimos anos.

Para Camargo (2017), há dois fatores fundamentais para uma melhor produção de energia através dos módulos solares, que são o ângulo de inclinação e sua orientação, sendo que no Brasil este ângulo varia de 5° a 22°. Outros motivos que influenciam no desempenho, como sujeira nos painéis, temperatura no módulo, eficiência do inversor, conexões, entre outros.

O sistema fotovoltaico é dividido em: *on grid*, *off grid* e híbrido. Os *off grid* possuem geração exclusiva, ou seja, não está ligada a rede elétrica e possui baterias para armazenamento, já o sistema *on grid* possui ligação com a rede elétrica, dispensando o uso de baterias e por último o sistema híbrido, que é a

junção dos sistemas *on grid* e *off grid*, onde é ligado a rede elétrica e também a baterias para o armazenamento de carga (PURIFICAÇÃO, RAMOS E KNISS, 2020). Conforme o Quando 1, observa-se o funcionamento do sistema *on grid* e *off grid*.

Quadro 1 - Sistema de geração fotovoltaico residencial.

Sistema	Descrição	Referência
	<p><i>on grid</i>: Este sistema dispensa o uso de baterias, toda a energia gerada é consumida ou vai para a rede elétrica.</p>	<p>Bortoloto <i>et al.</i> (2017, p. 3).</p>
	<p><i>off grid</i>: Já este sistema não se conecta a rede elétrica e necessita de baterias ou abastece diretamente os aparelhos elétricos.</p>	<p>Bortoloto <i>et al.</i> (2017, p. 4).</p>

Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com a ANEEL (2022b), as usinas fotovoltaicas (UFV) no Brasil ainda se apresentam de forma discreta, sendo que a potência fiscalizada é de 4.975.010,61 kW, o que corresponde a 2,7% da geração nacional e ficando bem atrás de outras fontes, como a hidrelétrica.

Os impactos ambientais em sistemas fotovoltaicos estão mais relacionados às características dos ecossistemas locais e a sua localização, porém, os impactos negativos são bem reduzidos se comparados aos positivos e as vantagens da instalação. Os principais impactos ao meio físico são as alterações ou degradação do ambiente, os impactos gerados nos canteiros de obras e alterações morfológicas. No meio biótico podemos citar a perda da cobertura vegetal, alteração dinâmica dos ecossistemas, afugentamento e fuga da fauna local e riscos de acidentes com animais ou causados por animais. Já os impactos negativos no meio

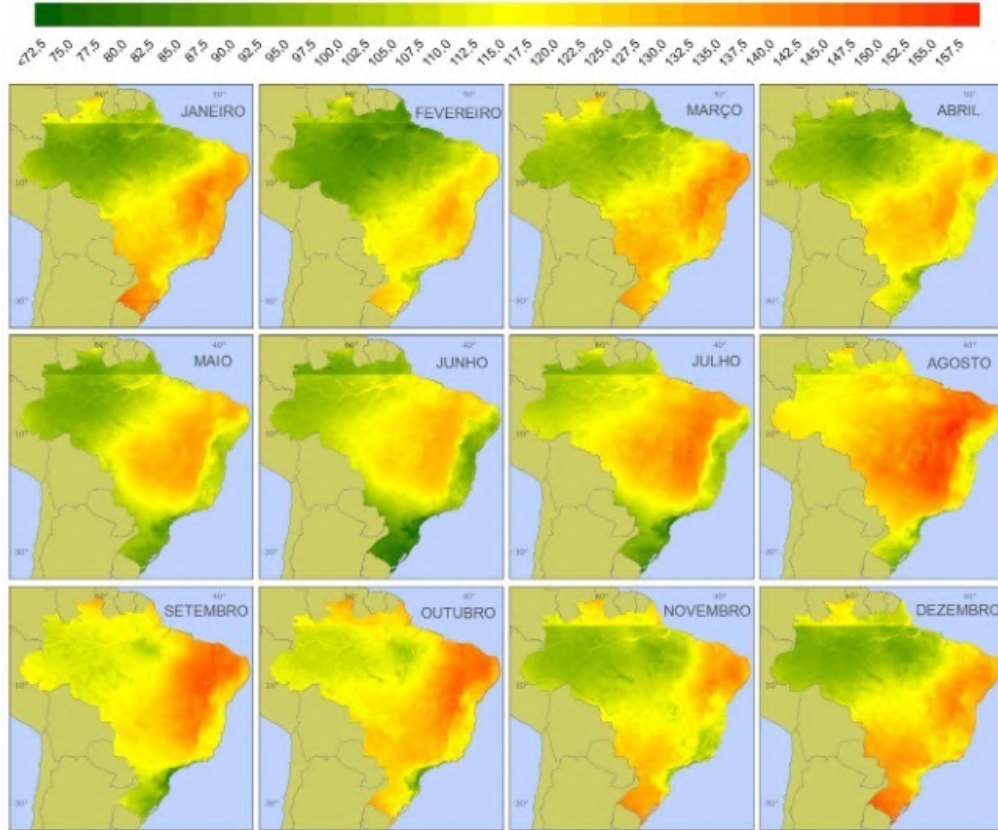
socioeconômico podem ser os causados durante a obra de implantação do empreendimento, porém os impactos positivos são o aproveitamento de uma fonte de energia limpa, disponível na natureza sendo renovável, melhor segurança na produção de energia e conseqüentemente um aumento na eficiência conforme a aplicabilidade devido a aumentar os investimentos em pesquisa e desenvolvimento da tecnologia (LAGRIMANTE *et al.* 2018).

2.4 Radiação solar e potencial de geração

Segundo Almeida (2018), a radiação solar é a energia transmitida pelo sol por meio de ondas eletromagnéticas e ao passar pela atmosfera terrestre sofre alterações causadas pelas dispersões, reflexões e absorções. Essas alterações ocorrem devido a diversos fatores, como as nuvens, o vapor de água, poeiras, etc. Com isso, existem três tipos de radiação, a direta que passa através da atmosfera e não sofre mudança de direção em sua trajetória, a difusa que é modificada por reflexão na atmosfera devido aos gases presentes e por ultimo a refletida que é refletida pela própria superfície terrestre e depende das características do solo.

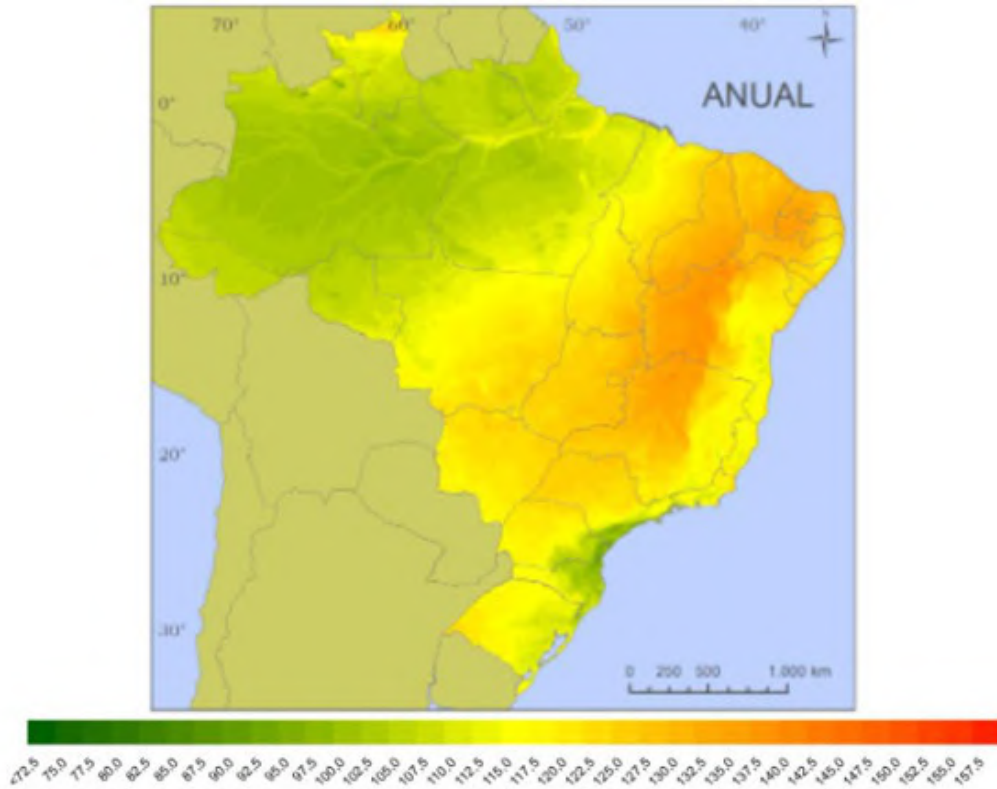
O Brasil possui consideráveis índices de radiação solar anual, classificando-se entre os melhores do mundo e segundo Costa, Lopes e Uturbay (2018), a energia solar comparado a outros recursos renováveis é a que possui a menor variabilidade inter anual e conseqüentemente os sistemas fotovoltaicos são ótimas opções para o uso desta fonte de energia. Em estudos já realizados no território brasileiro, foi possível observar que a capacidade de geração de energia através de sistemas fotovoltaicos é acima de 122 kWh em 25 % do território, o que é considerado um ótimo desempenho. Outros 45% tem desempenho de 115 kWh e o restante acima dos 108 kWh, fazendo do Brasil forte na geração de energia fotovoltaica. Nas Figuras 2 e 3 observa-se o potencial de geração por mês e anual em um sistema fotovoltaico típico.

Figura 2 - Potencial de geração mensal de energia fotovoltaica (kWh/kWp.mês).



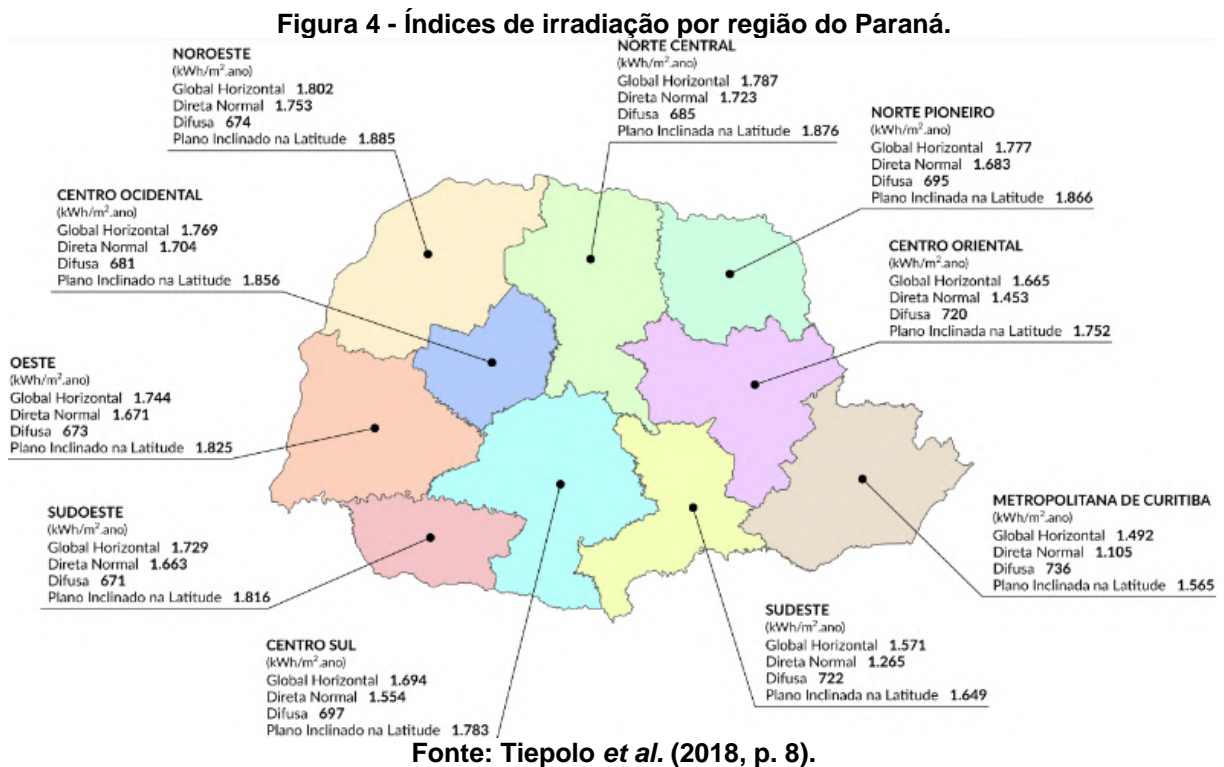
Fonte: Costa, Lopes e Uturbey (2018, p. 37).

Figura 3 - Potencial de geração de energia fotovoltaica anual (kWh/kWp.mês).



Fonte: Costa, Lopes e Uturbey (2018, p. 37).

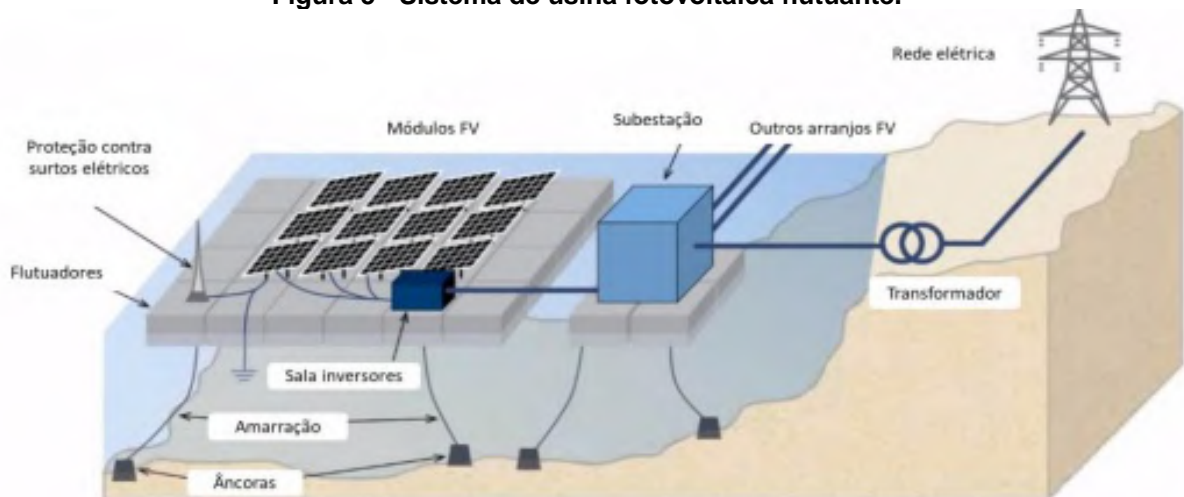
De acordo com Tiepolo *et al.* (2018), o estado do Paraná possui excelentes índices de irradiação média anual com destaque para região noroeste, além disso, em todo o estado é encontrados elevados índices, o que torna superior a diversos países europeus. Na Figura 4 podem-se observar os índices de irradiação em todas as regiões do estado.



2.5 Usina fotovoltaica flutuante

Segundo Borba e Novak (2018), a popularização dos sistemas fotovoltaicos contribuiu para tornarem os módulos mais acessíveis e tornando viável a instalação de UFF, principalmente em áreas de reservatórios. Na sua instalação é necessária uma estrutura flutuante com amarração e ancoragem para resistir aos ventos e as correntezas para evitar que os módulos colidam uns aos outros e as margens do lago, acima desta estrutura flutuante tem os módulos fotovoltaicos, proteção contra surtos elétricos e sala de inversores, tudo conectado a uma subestação que passa para o transformador e é ligada a rede elétrica. Na Figura 5, verifica-se um sistema de usina fotovoltaica flutuante.

Figura 5 - Sistema de usina fotovoltaica flutuante.



Fonte: Andrade *et al.* (2020, p. 3).

A instalação de UFF se iniciou a partir de 2007, com usinas de pequeno porte e com pouca produção de energia. Com o sucesso das instalações, o avanço da tecnologia e o passar do tempo a aplicação em larga escala foi crescendo, principalmente nos países asiáticos (BACELAR, 2019). Na Tabela 2 observam-se as primeiras UFF instaladas no mundo com respectivas potências instaladas.

Tabela 2 - Primeiras usinas fotovoltaicas flutuantes.

Ano	País	Cidade	KWp
2007	Japão	Aichi	20
2008	Estados Unidos	Califórnia	175
2008	Estados Unidos	Califórnia	30
2009	Itália	Bubano	500
2009	Espanha	Agost	24
2009	Itália	Solarolo	20

Fonte: Adaptado Bacelar (2019).

Ainda de acordo com o autor, até 2014 nenhuma UFF havia sido instalada em áreas de reservatórios de UHE e conforme estimativas, todos os reservatórios de UHEs poderiam gerar aproximadamente 6.270 TWh de energia.

De acordo com a EPE (2020a), existem diversos benefícios na implantação de uma UFF, tais como no ganho de eficiência que com a instalação dos módulos sobre a água tem redução de 5 a 20% na sua temperatura e melhorando a geração de energia. Outros fatores relevantes são a possível redução do crescimento de algas, água disponível para limpeza, redução de perdas por evaporação, fácil instalação, sem necessidade de terreno e pode trabalhar em operação coordenada com hidrelétricas. Um dos pontos negativos está na vida útil dos equipamentos

devido à umidade nos módulos, levando a corrosão ao passar do tempo, outro possível impacto é na redução de luz que pode influenciar a vida aquática.

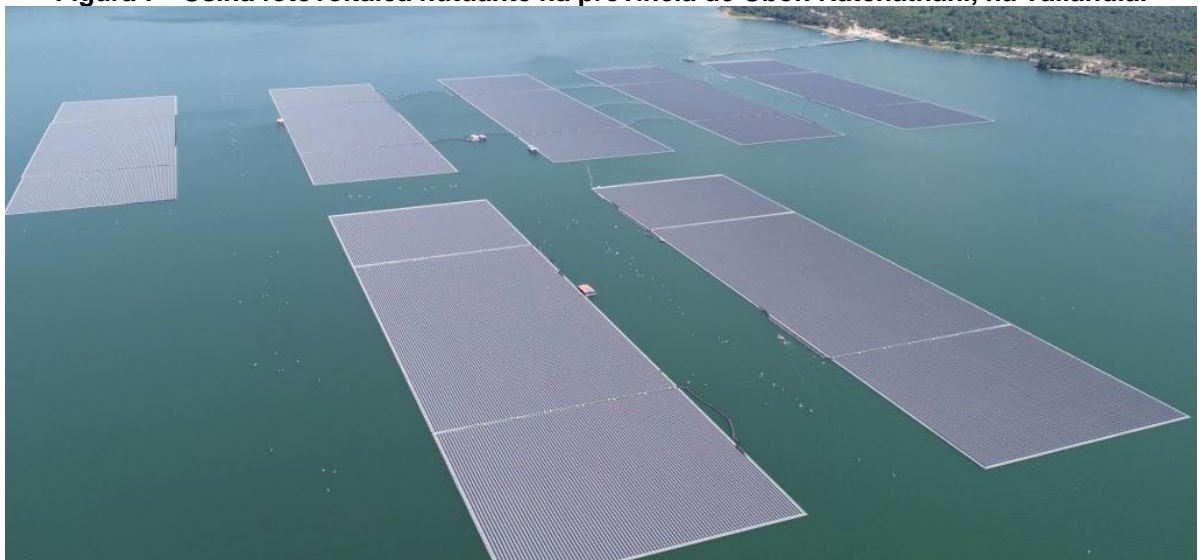
Em diversos países já se nota um aumento considerável de UFF, como exemplo a usina sobre o reservatório de Yamakura no Japão, a represa da hidrelétrica na província de Ubon Ratchathani na Tailândia e em Huainan, na China. Conforme as Figuras 6, 7 e 8.

Figura 6 - Usina fotovoltaica flutuante no reservatório de Yamakura no Japão.



Fonte: Ekko Green (2021a).

Figura 7 - Usina fotovoltaica flutuante na província de Ubon Ratchathani, na Tailândia.



Fonte: Ekko Green (2021b).

Figura 8 - Usina fotovoltaica flutuante em Huainan, na China.



Fonte: Portal Solar (2021).

No Brasil um dos destaques da UFF é a do reservatório da UHE de Sobradinho, no interior da Bahia, com níveis de radiação solar favoráveis e uma produção de 1.654 MWh com um total de 1 MWp no final da primeira etapa que foi concluída em 2019 e está previsto um total de três etapas. A UHE de Sobradinho está localizada sobre o rio São Francisco e seu reservatório tem aproximadamente 320 km de extensão. A administração da UHE e da UFF é de responsabilidade da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF. Além disso, a UFF opera de maneira coordenada com a UHE de Sobradinho (RODRIGUES *et al.*, 2020). Conforme na Figura 9, observam-se as localizações da UFF no reservatório da UHE, o eletrocentro e o ponto de conexão.

Figura 9 - Usina fotovoltaica flutuante na UHE de Sobradinho, na Bahia.



Fonte: Rodrigues *et al.* (2020, p. 6).

Segundo Mendieta e Hidalgo (2019), além da UHE de Sobradinho o Brasil conta também com a hidrelétrica de Balbina no Amazonas e a hidrelétrica de Rosana em São Paulo, que operam de maneira coordenada com as UFF e estão em operação. A evolução dos sistemas fotovoltaicos tem reduzido os custos e elevado os números de projetos de UFF ao redor do mundo, tornando-se boas alternativas para a expansão do sistema elétrico. A operação coordenada das UFF com as UHE trazem vantagens, como as áreas de reservatório disponíveis para a instalação e o aproveitamento da infraestrutura elétrica já disponível da UHE.

Ainda de acordo com o autor, do ponto de vista ambiental as UFF são uma alternativa para a redução de CO₂, quando comparada a outras fontes de energia, como as termoelétricas. Outro aspecto relevante é que se utilizam as áreas de reservatórios para sua instalação, evitando grandes áreas de desmatamento. Porém devem-se analisar os efeitos que podem ocorrer devido ao sombreamento e falta de oxigenação gerada com a UFF na vida aquática dos reservatórios.

2.6 Geoprocessamento

O geoprocessamento é uma tecnologia que vive em constante evolução tendo vários relatos de seu uso desde os tempos da colonização. Atualmente com a utilização do sistema podem-se gerar diversos mapas, que através de uma base de dados em computadores auxiliam em resultados mais precisos. Um dos *softwares* mais utilizados é o QGIS, que é de código aberto e permite análise de dados, processamento de imagens por satélite, produção de mapas, entre outras funções, o que permite uma maior precisão nas tomadas de decisões (SILVA *et al.*, 2019).

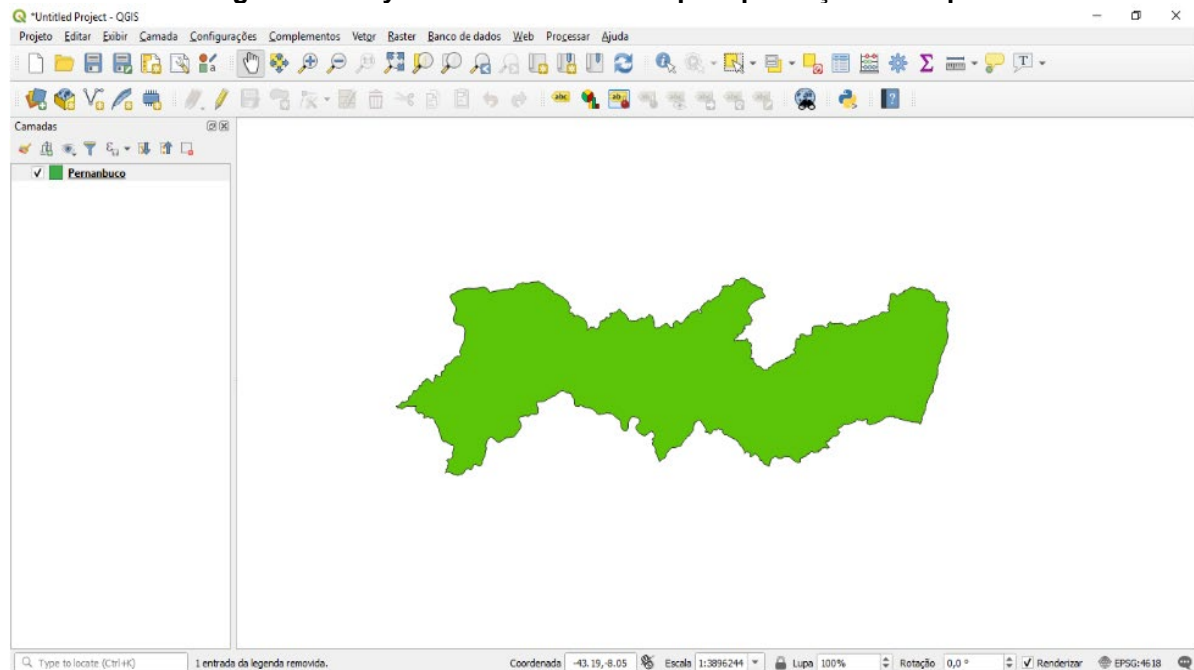
De acordo com Pereira *et al.* (2018), o QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e um *software* livre e aberto, o que facilita o seu uso. Além disso, suporta diversos formatos de dados e vários sistemas operacionais, sendo eles: *Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android*. Por se tratar de um SIG é capaz de integrar com outros diversos *softwares*, tornado adaptável a necessidade de cada usuário.

O QGIS é um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) e é projetado por desenvolvedores voluntários que realizam correções e atualizações constantes. Sendo utilizado por profissionais e em ambientes acadêmicos o *software* possui diversas aplicabilidades, por exemplo, identificar áreas com potencial para a instalação de UFV, utilizado na gestão de catástrofes,

gestão de estudos hidrológicos e climatológicos, desastres naturais e respostas humanitárias (BRUNO, 2017).

Para a construção de mapas no QGIS é necessário um arquivo chamado *shapefile* (SHP), onde contém o contorno do local que vai ser abordado no mapa, sendo encontrado com facilidade na internet e com um conhecimento mais avançado no QGIS é possível criar esses arquivos (FILHO E CAVALCANTE, 2020). Na Figura 10 observa-se um arquivo *shapefile* importado para o *software* QGIS.

Figura 10 - Layout do software QGIS para produção de mapas.



Fonte: Filho e Cavalcante (2020, p. 3).

2.7 Software PVsyst

Atualmente no mercado existem diversos *softwares* de dimensionamento de sistema fotovoltaico e o PVsyst é um deles. Este *software* permite realizar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico completo, com procedimentos rápidos e simplificados. Além de possuir um banco de dados próprio de módulos e inversores, o PVsyst permite que o usuário realize uma configuração matriz para realizar uma simulação preliminar. O *software* proporciona gráficos, tabelas, análises e simulações, tudo exibido de forma clara e objetiva em um relatório final (PAULA *et al.*, 2022).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar todos os levantamentos de dados e o mapeamento deste estudo, buscou-se através de referencial teórico, uso de *softwares* e dados fornecidos por empresas do setor para viabilizar a implantação de uma usina fotovoltaica flutuante.

De acordo com os dados da ANEEL (2022b), o ranking das cinco maiores usinas em potência outorgada no Paraná está demonstrado na Tabela 3 .

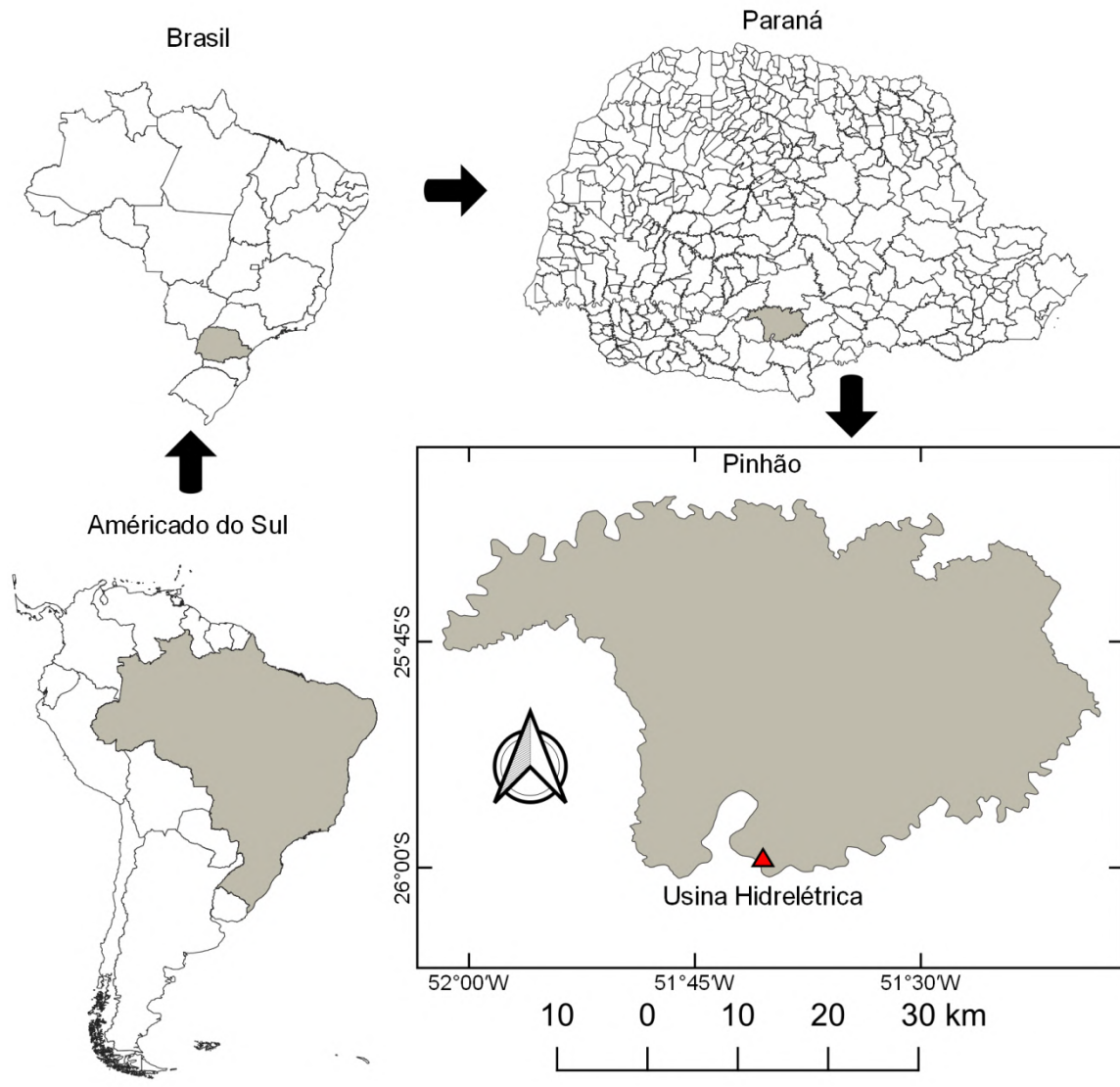
Tabela 3 - Cinco maiores usinas em potência Outorgada no Paraná.

UHE	Potência Outorgada (MW)*	Coordenadas Lat. Log.
A	7.000	25°24'32.57"S – 54°35'10.90"O
B	1.676	26°0'20.20"S - 51°40'8.21"O
C	1.420	25°37'46.53"S - 52°36'54.98"O
D	1.260	25°47'26.33"S - 52°6'44.71"O
E	1.240	25°32'35.37"S - 53°29'49.31"O

Fonte: Adaptado ANEEL (2022b).

Com isso, optou-se em realizar o estudo na Represa Foz de Areia, área de reservatório da UHE B, a segunda maior do estado do Paraná e de potência outorgada de 1.676 MW, como possibilidade de instalação de uma usina fotovoltaica flutuante para trabalhar em operação coordenada. A UHE B esta localizada no município de Pinhão nas coordenadas 26°0'20.20"S e 51°40'8.21"O, no Rio Iguaçu, conforme na Figura 11.

Figura 11 - Localização do município de Pinhão no estado do Paraná.



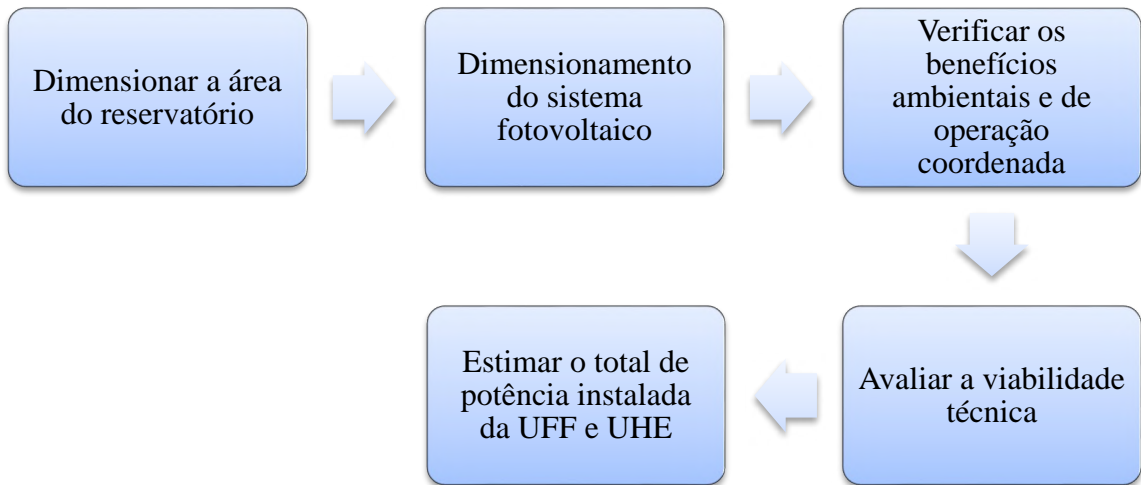
Fonte: Autoria própria (2022).

Para dimensionar a área de reservatório, a irradiação solar e produção de mapas foram utilizados o QGIS, que é um *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) de uso livre, o *Google Earth Pro* e dados em formato de arquivo *shapefile* obtidos através das plataformas INPE, INDE, LABREN e IBGE.

No dimensionamento do sistema foi utilizado o *software* PVsyst 7.2 na versão completa para avaliação por 30 dias e que serve para auxiliar no dimensionamento e desenvolvimento de projetos de geração solar fotovoltaica.

De acordo com a Figura 12, as etapas estão descritas no fluxograma metodológico da pesquisa.

Figura 12 - Fluxograma metodológico da pesquisa.



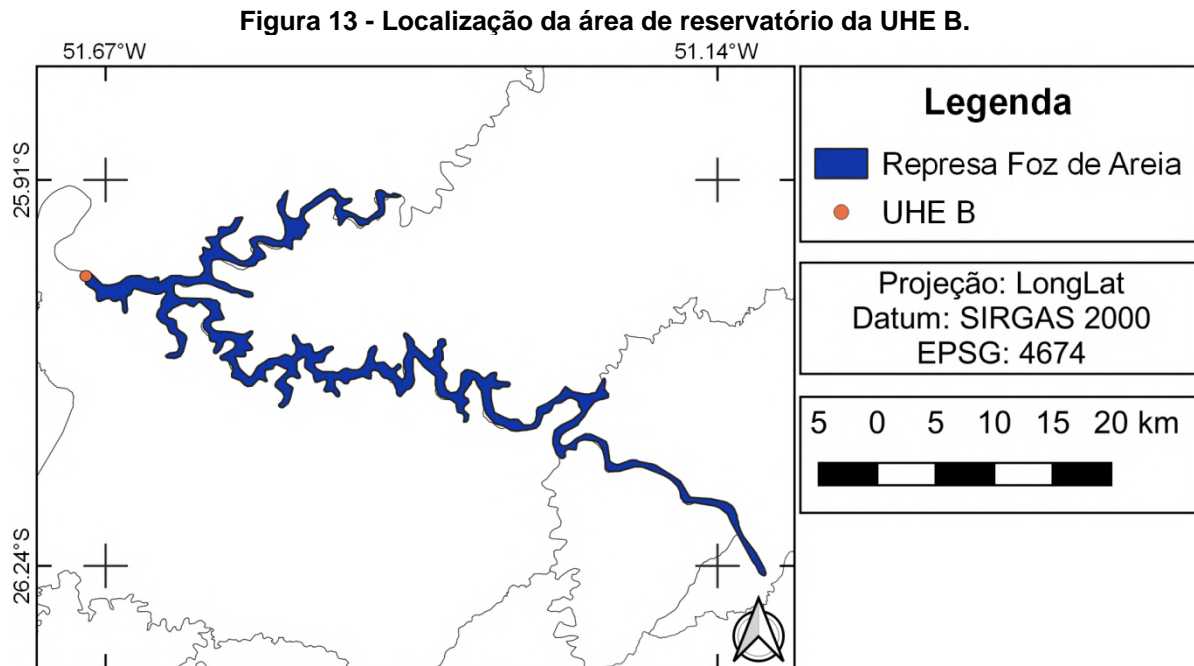
Fonte: Autoria própria (2022).

- Para o dimensionamento da área de reservatório foi utilizado banco de dados em formato de arquivo *shapefile* obtidos através das plataformas INDE, LABREN e IBGE aplicados no *software* QGIS. Também foi utilizado o *software Google Earth Pro* para obtenção de imagens de satélite e demarcação da área disponível para UFF;
- Para estimar a potência instalada foi utilizado o *software* PVsyst 7.2 de acordo com a área disponível;
- Para verificar os benefícios ambientais e de operação coordenada da UFF, foram analisados a potência instalada juntamente com a potência disponível da UHE e as vantagens de não gerar impactos ambientais com a instalação da UFF;
- Com base no dimensionamento realizado foi apresentada a viabilidade técnica;
- De posse destas informações foram apresentadas a potência instalada da UFF juntamente com o que a UHE têm de potência instalada e verificado o quanto que aumenta de geração de energia elétrica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Dimensionamento da área de reservatório

Para dimensionar o total da área disponível para o estudo foi utilizado o *software* QGIS, que a partir de arquivos *shapfile* disponíveis na plataforma INDE, pode-se visualizar a área de reservatório e com ajuda da ferramenta calculadora de campo chegou-se ao valor de 124.642.052 m² de área total de reservatório, onde se optou-se por utilizar 1% desta área para o estudo da UFF considerando como uma primeira etapa do projeto, com possibilidade de expansão em outras duas etapas, uma com 5% e outra com 10%. Na Figura 13 pode-se observar o total de área da represa Foz de Areia.



Fonte: Autoria própria (2022).

Ao utilizar 1% da área de reservatório da UHE B para a primeira etapa, o valor obtido para a instalação da UFF é de aproximadamente 1.246.000 m². Para que ambas trabalhem em operação coordenada, o local escolhido da instalação fica próximo a barragem da hidrelétrica facilitando o acesso à manutenção e evitando gastos desnecessários com a extensão de rede elétrica. A Figura 14 exibe em azul a área escolhida para a UFF.

Figura 14 - Local disponível utilizando 1% da área total para a instalação da UFF.



Fonte: Adaptado de *Google Earth Pro* (2022).

Pensando em no futuro expandir a UFF, também foi calculado sobre 5% da área total do reservatório para a segunda etapa e 10 % para uma terceira etapa, na Tabela 4 observam-se o total da área disponível para cada etapa do projeto.

Tabela 4 - Área disponível utilizando 1%, 5% e 10%.

Etapa	Porcentagem utilizada	Área
1	1%	1.246.000 m ²
2	5%	6.230.000 m ²
3	10%	12.460.000 m ²

Fonte: Autoria própria (2022).

4.2 Irradiação solar na região

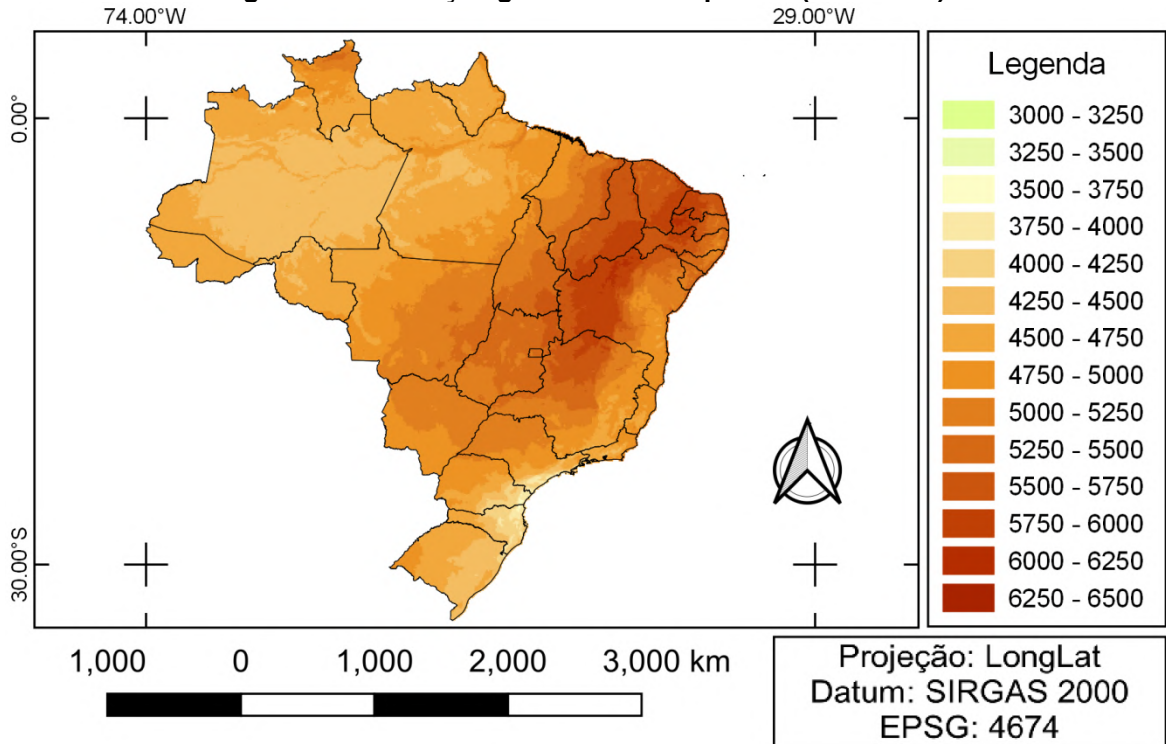
Conforme observado na Tabela 5 o Brasil possui consideráveis índices de irradiação global mensal e as regiões que mais se destacam é o nordeste com 5.483 Wh/m², seguidos do sudeste e centro-oeste. Já os índices diários no Brasil variam de 3.500 Wh/m².dia á 6.250 Wh/m².dia sendo observado na Figura 15.

Tabela 5 - Médias mensais de irradiação global de cada região.

Região	Irradiação global (Wh/m ²)
Norte	4.825
Nordeste	5.483
Centro-Oeste	5.082
Sudeste	4.951
Sul	4.444

Fonte: Adaptado QGIS (2022).

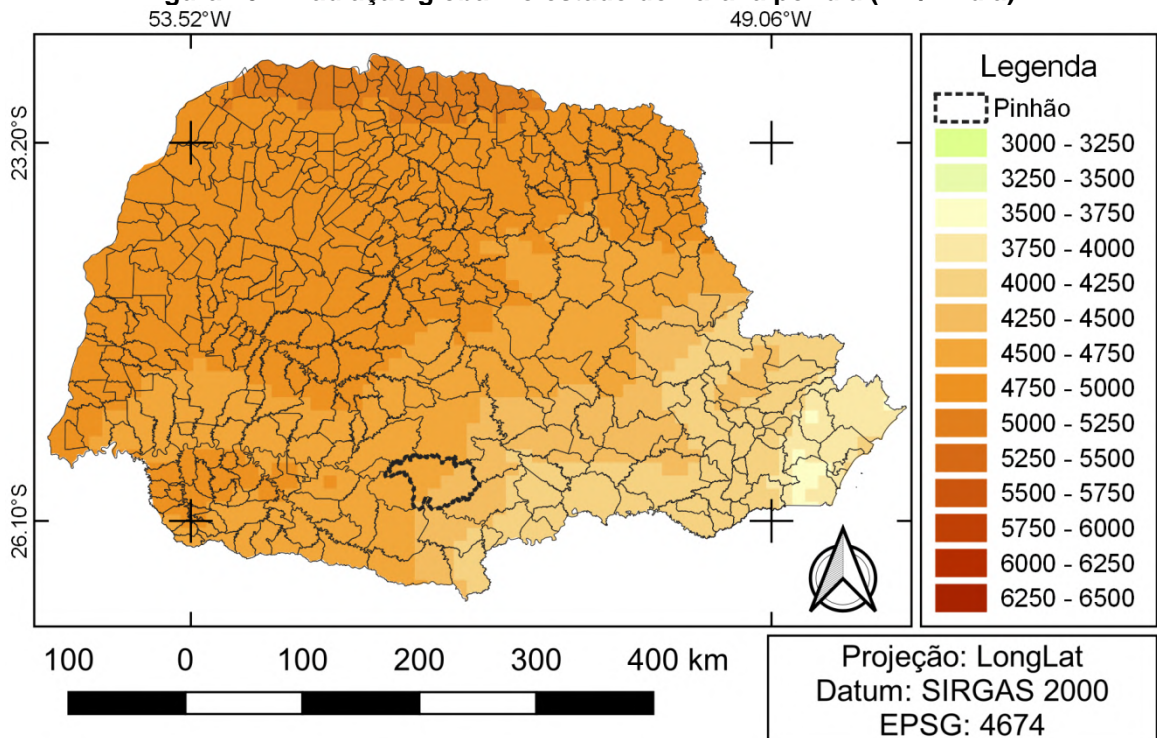
Figura 15 - Irradiação global no Brasil por dia (Wh/m².dia).



Fonte: Autoria própria (2022).

No estado do Paraná os índices variam de 3.500 Wh/m².dia á 5.250 Wh/m².dia e no município de pinhão os valores ficam em 4.250 Wh/m².dia á 4.750 Wh/m².dia, podendo este ser observado na Figura 16.

Figura 16 - Irradiação global no estado do Paraná por dia (Wh/m².dia).



Fonte: Autoria própria (2022).

Se comparar a médias obtidas no Paraná, o estado possui valores superiores a diversos países europeus, um exemplo é uma média 43% superior a da Alemanha, ou 55% superior ao Reino Unido, mostrando que o Paraná possui excelentes índices de irradiação (TIEPOLO *et al.*, 2018).

4.3 Dimensionamento do sistema

Com os dados obtidos no QGIS foi possível dimensionar a área disponível do local de estudo, a partir destes dados e com a utilização do *software* PVsyst 7.2 (Figura 17), foi realizado o dimensionamento do sistema em três etapas, com utilização de 1%, 5% e 10% da área de reservatório.

Figura 17 - Entrada de dados para simulação do projeto conforme software PVsyst 7.2.

Projeto

Nome do projeto: UFF - UHE
 Nome do cliente: Não definido
 Ficheiro localização: Pinhão_MN80.SIT
 Ficheiro meteorológico: Pinhão_MN80_SYN.MET

Variante

Nº de Variante: UFF Represa Foz de Área

Parâmetros principais

- Orientação
- Sistema
- Perdas detalhadas
- Autoconsumo
- Armazenamento

Opcional

- Horizonte
- Sombras próximas
- Disposição módulos
- Gestão da energia
- Avaliação económica

Simulação

-
-
-
-

Sinopse dos resultados

Tipo de sistema	Sem desenho 3D de sombras, sem sombras
Produção do sistema	381082 MWh/ano
Produção específica	1590 kWh/kWp/ano
Índice de performance	0.812
Produção normalizada	4.36 kWh/kWp/dia
Perdas do grupo	0.85 kWh/kWp/dia
Perdas do sistema	0.16 kWh/kWp/dia

Fonte: Autoria própria (2022).

Os módulos utilizados foram o Canadian CS3W-425MS e de acordo com o fabricante possuem 144 células monocristalinas, 425 W de potência pico, eficiência energética em 19,24% (classe A) e o isolamento elétrico de 1500 V. As dimensões do módulo é de 2108x1048mm e peso de 24'9 kg. Para a escolha do módulo, foi levado em consideração modelos comercializado no Brasil e com tecnologia PERC, que permite maior eficiência e capacidade de produção por módulo, gerando um melhor custo e benefício com maior produtividade de energia para a UFF, além disso, possuem certificação do INMETRO. Na conversão de energia foi selecionado inversor central da GE *Power Conversion*, modelo LV5 1566 e cada inversor têm potência de 3,04 MW. Para a escolha do inversor foi considerado a comercialização

no Brasil e a compatibilidade com os módulos selecionados através do *software*. Para maiores detalhes do módulo e o inversor, encontra-se em anexo ao estudo o manual com especificações técnicas de cada modelo citado acima (Anexos A e B).

Para o dimensionamento foi utilizado uma inclinação de 10% nos módulos e as irradiações foram fornecidas pelo banco de dados do próprio *software* através das coordenadas da UHE B. Com os dados definidos, foi realizada a simulação dia a dia pelo período de um ano aleatoriamente e obtiveram-se os seguintes resultados para a primeira etapa, conforme o Quadro 2 e Tabela 6.

Quadro 2 - Resultados do dimensionamento do sistema com 1% da área.

Descrição	Módulo	Inversor
Fabricante	Canadian	GE <i>Power Conversion</i>
Modelo	CS3W-425MS (1500 V)	LV5-1566
Potência unitária	425 Wp	3,04 MWp
Quantidade	564004	61
Potência total	239,7 MWp	185,4 MWp
Potência do sistema	239,7 MWp	
Energia produzida	381,1 GWh/ano	
Produção específica	1.590 kWh/kWp/ano	
<i>Performance Ratio</i> (PR)	81,18 %	

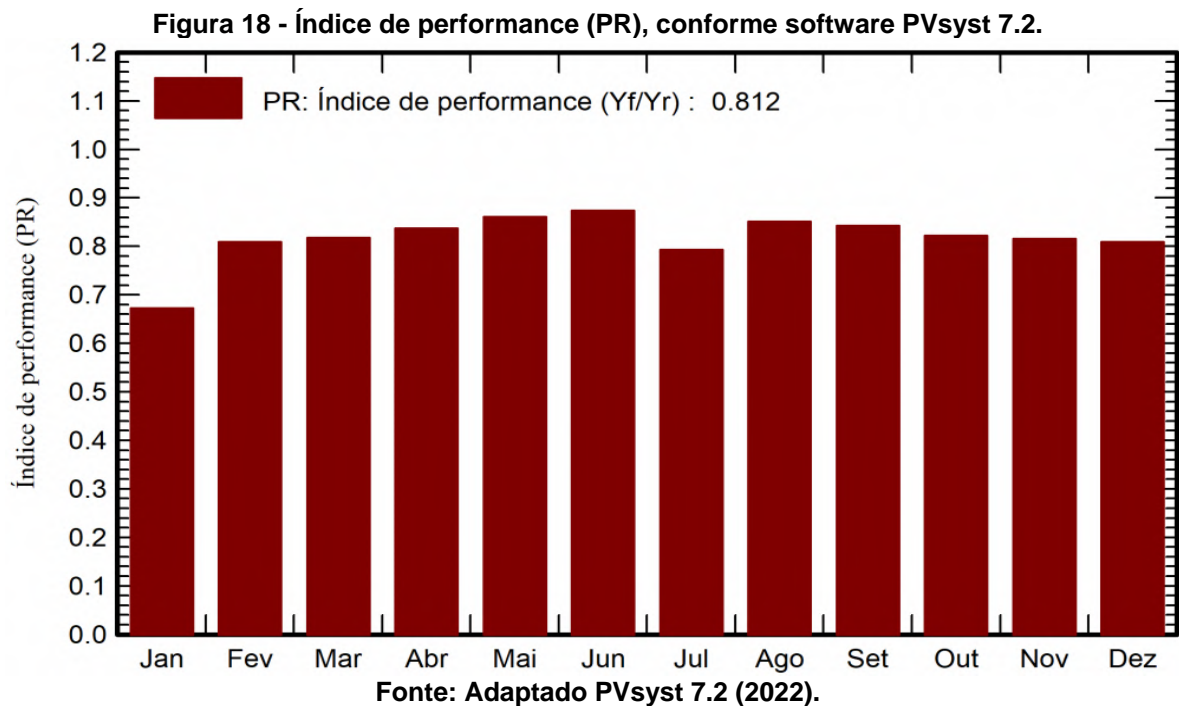
Fonte: Adaptado PVsyst 7.2 (2022).

Tabela 6 - Resultado anual da simulação.

	Irradiação horizontal total	Irradiação difusa horizontal	Temperatura ambiente	Energia injetada na rede	<i>Performance ratio</i> (PR)
Unidade	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	MWh	rácio
Janeiro	208,7	92,70	24,05	32.868	0,672
Fevereiro	155,6	70,90	23,87	30.374	0,809
Março	166,2	60,20	22,63	33.961	0,817
Abril	141,9	50,50	20,29	31.091	0,837
Mai	117,6	41,20	17,09	27.643	0,860
Junho	99,4	34,90	14,86	24.239	0,873
Julho	114,5	33,90	14,58	25.347	0,793
Agosto	138,7	47,40	17,14	31.544	0,851
Setembro	145,2	62,70	18,29	31.011	0,842
Outubro	196,5	68,20	20,38	39.460	0,822
Novembro	186,6	74,50	21,55	36.024	0,816
Dezembro	199,0	93,80	23,32	37.520	0,809
Ano	1.869,9	730,90	19,82	381.082	0,812

Fonte: Adaptado PVsyst 7.2 (2022).

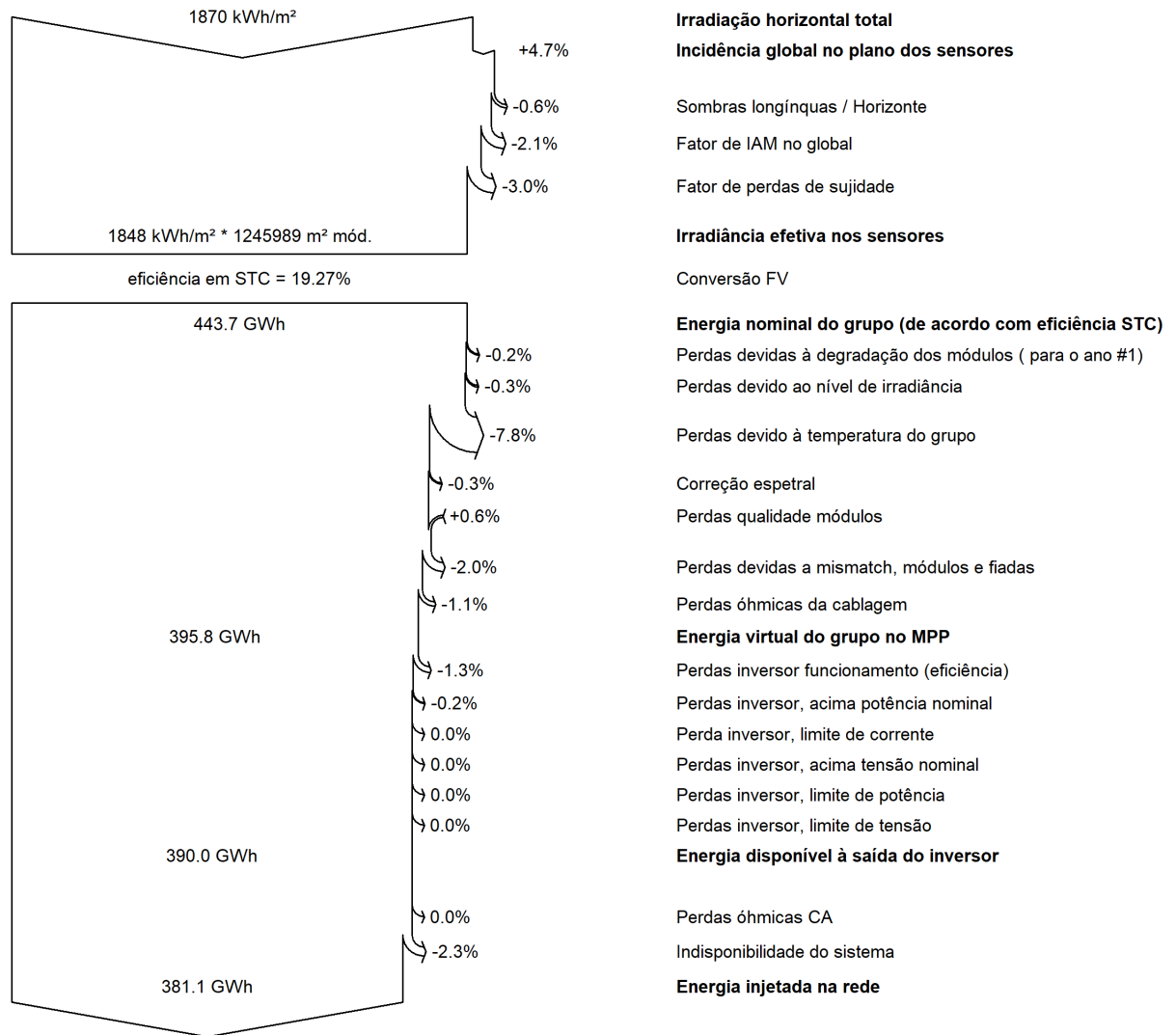
Conforme observado na Tabela 6, a energia injetada na rede obtiveram os melhores índices nos meses de outubro com 39.460 MWh, seguido por dezembro e novembro. Já o Índice de Performance ou *Performance Ratio* (PR) obteve a média anual de 0,812, ou seja, 81%, com o menor valor em janeiro de 0,672 e o maior em junho com 0,873 (Figura 18).



O PR pode ser usado para avaliar a qualidade do sistema, sendo a relação entre o rendimento real e o rendimento esperado. Usinas fotovoltaicas utilizam o PR para monitorar seus rendimentos e quando o valor de PR é menor que 0,8 é um valor considerado como indicador de problemas (NETA *et al.*, 2022).

Já as perdas do sistema foram definidos por valores padrões disponibilizados pelo *software*, após a simulação do sistema pôde-se observar que a energia nominal do grupo, conforme a eficiência de condições de teste padrão (STC) era de 443,7 GWh sendo que após as perdas a energia injetada na rede ficou em 381,1 GWh. Já as perdas de maiores expressões foram devido à temperatura do sistema, onde se obtiveram 7,8% de perda, as demais perdas estão descritas na Figura 19.

Figura 19 - Diagrama de perdas por ano.

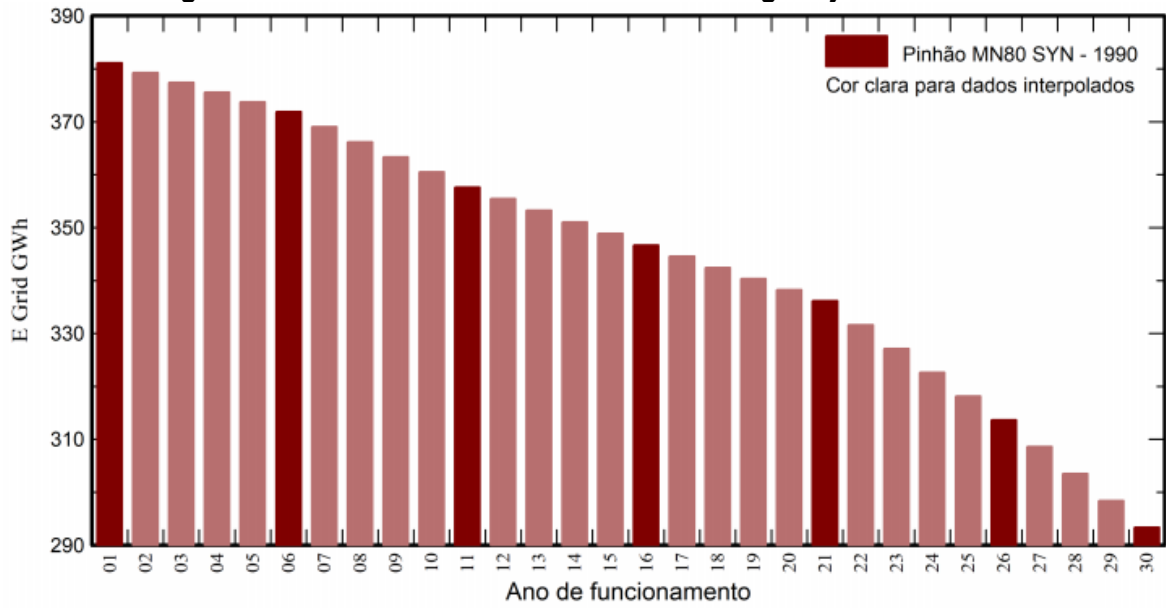


Fonte: Adaptado PVsyst 7.2 (2022).

A energia solar gera calor para o sistema e conseqüentemente a perda na eficiência. A simulação realizada no *software* não levou em consideração a instalação do sistema sobre a água, sendo que uma das vantagens de ser instalado sobre a água é o resfriamento do sistema, melhorando a sua eficiência. Outro ponto onde ser observado é que devido ao local de instalação ser sobre a água é a redução da poeira nos módulos, melhorando a eficiência e reduzindo gastos e tempo com limpeza (Pouran *et al.*, 2022).

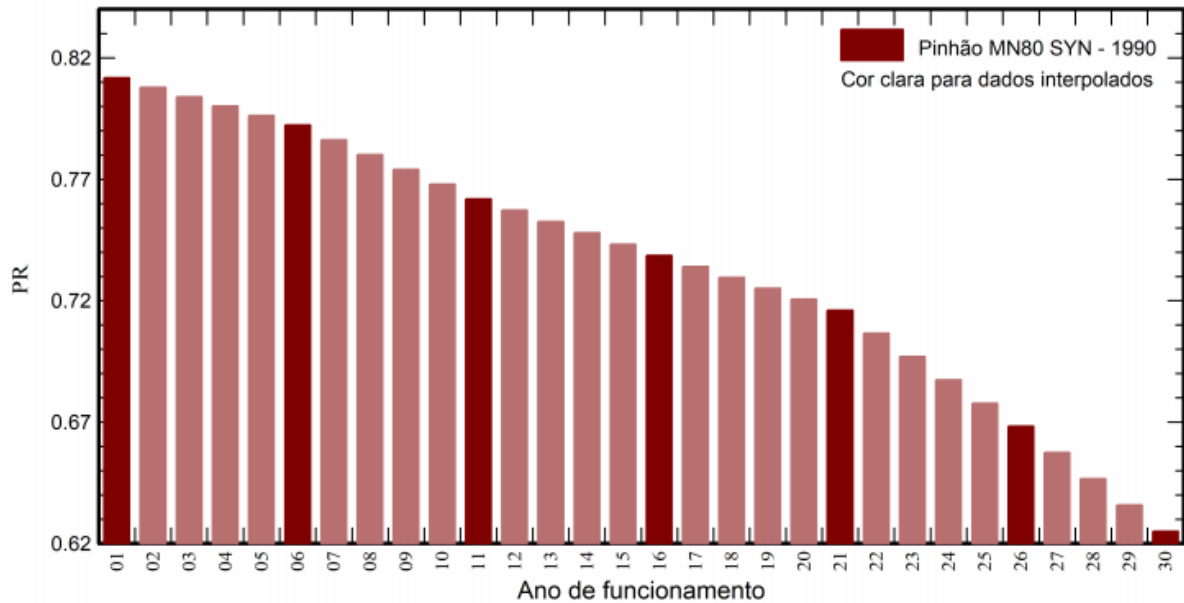
A simulação de envelhecimento do sistema é a partir de uma degradação de 0,4% ao ano, por um período de 30 anos. Nesta simulação foi verificado qual o envelhecimento do sistema em energia injetada na rede (Figura 20) e em PR (Figura 21).

Figura 20 - Envelhecimento do sistema em energia injetada na rede.



Fonte: Adaptado PVsyst 7.2 (2022).

Figura 21 - Envelhecimento do sistema em PR.



Fonte: Adaptado PVsyst 7.2 (2022).

Em uma UFF, um fator negativo que influencia na perda de eficiência ao passar dos anos é a exposição dos módulos e inversores à alta umidade relativa presente, que conseqüentemente faz com que o sistema se deteriore ano a ano (TINA E SCAVO, 2022)

No período de 30 anos a perda de PR foi de 23%, saindo de um índice de 0,812 no primeiro ano para 0,625 no trigésimo ano. Já a energia injetada na rede foi de 381,1 GWh no primeiro ano para 293,4 GWh no trigésimo ano (Tabela 7).

Tabela 7 - Envelhecimento do sistema.

Ano	Energia injetada na rede (GWh)	PR	Perda de PR (%)
1	381,1	0,812	0%
2	379,2	0,808	-0,5%
3	377,4	0,804	-1%
4	375,6	0,8	-1,4%
5	373,7	0,796	-1,9%
6	371,9	0,792	-2,4%
7	369,0	0,786	-3,2%
8	366,2	0,78	-3,9%
9	363,3	0,774	-4,7%
10	360,5	0,768	-5,4%
11	357,6	0,762	-6,2%
12	355,4	0,757	-6,7%
13	353,3	0,753	-7,3%
14	351,1	0,748	-7,9%
15	348,9	0,743	-8,5%
16	346,7	0,739	-9%
17	344,6	0,734	-9,6%
18	342,5	0,73	-10,1%
19	340,3	0,725	-10,7%
20	338,2	0,721	-11,2%
21	336,1	0,716	-11,8%
22	331,6	0,706	-13%
23	327,1	0,697	-14,2%
24	322,7	0,687	-15,3%
25	318,2	0,678	-16,5%
26	313,7	0,668	-17,7%
27	308,6	0,657	-19%
28	303,5	0,647	-20,4%
29	298,4	0,636	-21,7%
30	293,4	0,625	-23%

Fonte: Adaptado PVsyst 7.2 (2022).

4.4 Simulação em três etapas

Na Tabela 8, observam-se os principais resultados obtidos nas simulações utilizando 1%, 5% e 10% da área de reservatório. Encontram-se disponíveis, em anexo os relatórios completos das três simulações (Apêndice A, B e C).

Tabela 8 - Resultados da simulação em três cenários.

Etapa	Área	Potência do sistema	Energia produzida	Emissões evitadas
1	1.246.000 m ²	239,7 MWp	381,1 GWh/ano	926.027,6 tCO ₂
2	6.230.000 m ²	1.199,0 MWp	1.802,0 GWh/ano	4.378.216,1 tCO ₂
3	12.460.000 m ²	2.397,0 MWp	3.604,0 GWh/ano	8.756.550,8 tCO ₂

Fonte: Adaptado PVsyst 7.2 (2022).

Segundo Carvalho (2020), em um estudo realizado pela Universidade Federal de Santa Catarina o valor médio de consumo de energia de uma residência no Brasil é de 152,2 kWh/mês e realizando cálculos básicos pode-se chegar que na primeira etapa que a energia gerada é capaz de alimentar aproximadamente 209 mil residências, já na segunda etapa é de aproximadamente 987 mil residências e na última etapa a capacidade é de aproximadamente 1,973 milhões de residências.

4.5 Operação coordenada

A UHE B tem de potência instala 1.676 MW e trabalhando em operação coordenada com a UFF tem as seguintes potências em cada etapa (Tabela 9).

Tabela 9 - Total de potência instala da UHE B e UFF.

Etapa	Potência da UHE B	Potência do sistema da UFF	Total de potência
1		239,7 MWp	1.915,7 MWp
2	1.676 MWp	1.199,0 MWp	2.875,0 MWp
3		2.397,0 MWp	4.073,0 MWp

Fonte: Adaptado PVsyst 7.2 (2022).

A potência instalada na terceira etapa da UFF é superior do à potência da UHE B e trabalhando em operação coordenada chega a um total de 4.073 MWp de potência instalada, mais que o dobro da UHE B.

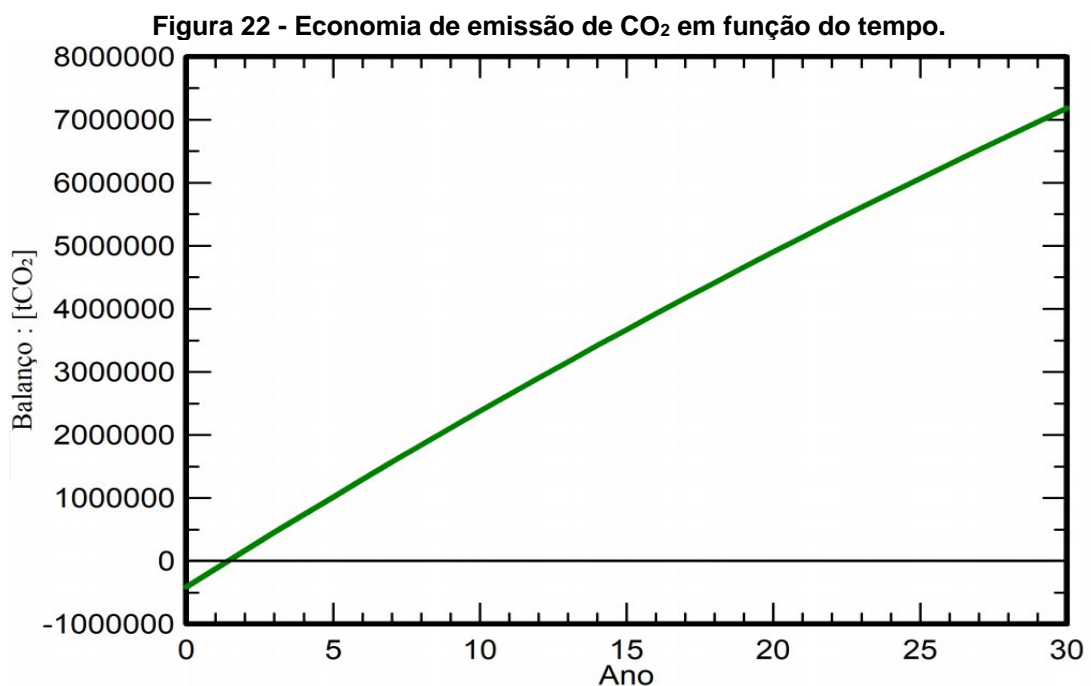
De acordo com Cazzaniga *et al.* (2019), um dos principais benefícios da operação coordenada é de que as UHE já são equipadas com geradores de energia e também são conectas a rede de transmissão, o que reduz o custo da instalação de uma UFF. Além disso, em períodos de escassez hídrica, onde reduz os níveis de água e a produção de energia da UHE diminui, a UFF pode compensar esta perda, podendo reduzir a evaporação da água e gerando energia para o sistema, sendo que neste período de escassez, a incidência solar é maior e conseqüentemente gera mais energia para na UFF.

4.6 Benefícios ambientais da UFF

Um dos benefícios ambientais da UFF é na redução da evaporação da água no reservatório e de acordo com Pouran *et al.* (2022), em cenários com cobertura de 20% do reservatório com módulos fotovoltaicos, espera-se que haja uma redução de aproximadamente 15% na evaporação da água, sendo fundamental nos períodos de secas. Em uma primeira etapa da instalação da UFF, o valor da redução pode não ser tão significativo, porém pensando em uma terceira etapa aonde os valores de cobertura chegam a 10%, o valor da redução da evaporação se torna mais significativo, contribuindo para o meio ambiente e para a geração de energia da UHE nos períodos de seca.

Ainda segundo o autor, a redução da proliferação de algas nos reservatórios é outro impacto positivo gerado pela cobertura da UFF. Para que tenha a proliferação de algas é necessária a penetração de luz solar e o aumento da temperatura, dois pontos que a UFF pode amenizar, melhorando a qualidade da água, evitando prejuízos no abastecimento, na pesca, entre outros benefícios.

Outro ponto de destaque para sistemas fotovoltaicos é as emissões de CO₂ que são evitadas ao longo dos anos. Com o dimensionamento utilizando apenas 1% da área de reservatório, a UFF deixará de emitir 926.027,6 toneladas de CO₂ em um período de 30 anos, se observado o dimensionamento da etapa três, esses valores chegam á 8.756.550,8 toneladas de CO₂ evitadas (Figura 22).



Fonte: Adaptado PVsyst 7.2 (2022).

De acordo com Dantas, Apolonio e Arruda Junior (2019), a energia fotovoltaica tem contribuído significativamente para a redução de CO₂ no mundo e estima-se que esse valor seja entre 200 a 300 milhões de toneladas de CO₂ evitadas anualmente. O Brasil está entre os países com maior número de emissões geradas anualmente e em 2009 foi estabelecida a Política Nacional sobre a Mudança do Clima (PNMC) que tem como objetivo reduzir as emissões de gases de efeito estufa contribuindo para o meio ambiente e para a redução do aquecimento global.

5 CONCLUSÃO

Este estudo buscou avaliar o dimensionamento de uma UFF em área de reservatório trabalhando em operação coordenada com uma UHE. Atualmente com a crescente busca por fontes de energia limpa e renovável, a energia fotovoltaica vem em um crescimento exponencial, devido a sua popularização e redução de preços com o passar dos anos. A instalação da UFF pode gerar diversos benefícios do ponto de vista econômico, social e ambiental.

Com o dimensionamento da área de reservatório, verificou-se o espaço disponível para a instalação em três cenários, com 1%, 5% e 10% de utilização da área. Com os resultados obtidos na simulação, foi possível observar que o sistema teve resultados satisfatórios quanto a potencia instalada, geração de energia e índice de performance, além da quantidade de emissões de CO₂ evitadas ao longo de 30 anos.

Os benefícios da operação coordenada vão da utilização da mesma rede de transmissão, a compensação de geração de energia em períodos de escassez hídrica, a redução de custos com manutenção, o aumento da potencia instalada e da geração de energia.

Do ponto de vista ambiental, a instalação da UFF traz diversos benefícios para o meio ambiente, desde no meio aquático que reduz a evaporação das águas nos reservatórios, reduz a proliferação de algas que em excesso podem prejudicar a qualidade das águas, o abastecimento e pesca, além disso, as emissões de CO₂ evitadas contribuem na redução do aquecimento global. Porém a redução de luz no ambiente aquático pode trazer impactos negativos, algo que deve ser analisado em estudos futuros.

Diante dos resultados, a instalação da UFF se mostrou promissora devido aos seus ganhos energéticos e aos benefícios gerados. Porém fica claro que para uma futura instalação deste sistema na UHE B, será exigida uma análise mais aprofundada do dimensionamento da UFF, dos impactos ambientais e da viabilidade econômica. Sendo assim, este trabalho de conclusão de curso atinge seu objetivo e espera poder contribuir para mais pesquisas científicas sobre o tema.

REFERÊNCIAS

- ALIANÇA ENERGIA. **Como funciona uma usina hidrelétrica?**. 2022. Disponível em: <https://aliancaenergia.com.br/br/como-funciona-uma-usina-hidreletrica/>. Acesso em: 14 abr. 2022.
- ALMEIDA, R. A. **Energia solar: o aproveitamento da radiação solar para produção de eletricidade no Brasil**. 2018. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Especialista em Gestão de Recursos Hídricos, Ambientais e Energéticos, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, São Francisco do Conde, 2018. Disponível em: https://repositorio.unilab.edu.br/jspui/bitstream/123456789/962/1/2018_mono_ralmeida.pdf. Acesso em: 07 out. 2022.
- ANDRADE, R. L. *et al.* Etapas construtivas de uma estrutura fotovoltaica flutuante desenvolvida no Brasil. *in*: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. 2020, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza, 2020. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/927>. Acesso em: 21 abr. 2022.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Brasil ultrapassa marca de 10 GW em micro e minigeração distribuída**. 2022a. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/brasil-ultrapassa-marca-de-10-gw-em-micro-e-minigeracao-distribuida>. Acesso em: 09 abr. 2022.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Sistema de informação de geração da ANEEL – SIGA**. 2022b. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzd kNTQ1MTc1NjM2liwidCI6ljQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5Yz AxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 09 abr. 2022.
- BACELAR, T. S. **Características das condições ambientais no reservatório da UHE Sobradinho no contexto da geração fotovoltaica flutuante**. 2019. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2019. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/36153/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Tarc%c3%adsio%20Souto%20Bacelar.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2022.
- BORBA, R. A.; NOVAK, L. H. Sistemas fotovoltaicos flutuantes: aspectos positivos e desafios. *in*: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. 2018. Gramado. **Anais [...]**. Gramado, 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/151>. Acesso em: 14 abr. 2022.
- BORTOLOTO, V. A. *et al.* Geração de energia solar *on grid* e *off grid*. *In*: 6ª JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA FATEC DE BOTUCATU. 2017, Botucatu. **Anais [...]**. Botucatu, 2017. Disponível em: <http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/VIJTC/VIJTC/paper/view/1069> Acesso em: 07 mai. 2022.

BRUNO, L. O. Aplicabilidade de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) livres nas ciências ambientais: o uso do QGIS. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**. Cuiabá. v.4, n.8, p. 321-326. 2017. Disponível em: <http://revista.ecogestaobrasil.net/v4n8/v04n08a07.html>. Acesso em: 07 mai. 2022.

CAMARGO, L. T. **Projeto de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. 2017. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017. Disponível em: http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2017_LucasTamaniniCamargo.pdf. Acesso em: 15 abr. 2022.

CARVALHO, T. F. **Estudo sobre usinas solares flutuantes em reservatórios de água no Brasil: estudo de caso no rio Mossoró**. 2020. 11 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/6197>. Acesso em: 09 nov. 2022.

CAZZANIGA, R. *et al.* Integration of PV floating with hydroelectric power plants. **Heliyon**, [S.L.], v. 5, n. 6, p. 1-8, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01918>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844019301525>. Acesso em: 05 nov. 2022.

COSTA, A. M. G.; LOPES, B. M.; UTURBAY W.. Mapeamento do potencial de geração solar fotovoltaica no Brasil – Uma abordagem preliminar. **Revista Brasileira de Energia Solar**. v. IX. 2018 p. 30 -40. Disponível em: <https://rbens.org.br/rbens/article/view/232/190>. Acesso em: 20 out. 2022.

DANTAS, O. L.; APOLÔNIO, R.; ARRUDA JUNIOR, A. Potencial da geração distribuída e seu impacto na redução de emissões de CO₂: Estudo de uma micro usina fotovoltaica conectada à rede de energia elétrica. **Engevista**, Cuiabá, v. 2, n. 21, p. 329-340, 2019. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/engevista/article/view/27299>. Acesso em: 27 out. 2022.

EKKO GREEN. **Japão inaugura a maior usina solar flutuante do mundo**. 2021a. Disponível em: <https://ekkgreen.com.br/maior-usina-solar-flutuante/>. Acesso em: 24 abr. 2022.

EKKO GREEN. **Usina flutuante**. 2021b. Disponível em: <https://ekkgreen.com.br/usinas-flutuantes-144-mil-paineis-solares/>. Acesso em: 24 abr. 2022.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **BEM - Balanço Energético Nacional: Relatório final**. 2020b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>. Acesso em: 09 abr. 2022.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Solar fotovoltaica flutuante: Aspectos tecnológicos e ambientais relevantes ao planejamento**. 2020a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados->

abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-466/NT%20Solar%20Fotovoltaica%20Flutuante.pdf. Acesso em: 24 abr. 2022.

FERREIRA, R. S. The negative effects caused by the construction and operation of hydroelectric plants. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 7, p. e543972406, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i7.2406. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/2406>. Acesso em: 09 abr. 2022.

FILHO, M. H. O. P.; CAVALCANTE, E. B. Utilização do programa QGIS na elaboração de mapa de irradiação solar. *in*: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2020, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza, 2020. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/757/757>. Acesso em: 02 nov. 2022.

GOOGLE EARTH PRO 7.3.4. 2022, Coordenadas 26° 0'20.20"S, 51° 40'8.21"W, Acesso em: 26 set. 2022.

LAGRIMANTE, D. M. *et al.* Estudo da aplicação de energia fotovoltaica. **Revista Pesquisa E Ação**, 4(1), 162-170. 2018. Disponível em: <https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/view/398>. Acesso em: 15 abr. 2022.

MEDEIROS, G. A. S.; FERREIRA, L. Utilização de um sistema fotovoltaico flutuante para operação coordenada com usina hidrelétrica e sua viabilidade financeira: Estudo de caso da UHE Sobradinho. *In*: XIV SYMPOSIUM OF SPECIALISTS IN ELECTRIC OPERATIONAL AND EXPANSION PLANNING. 2018, Recife. **Anais [...]**. Recife: XIV SEPOPE, 2018. p. 01-12. Disponível em: <https://thymosenergia.com.br/wp-content/uploads/2019/09/SEPOPE-SP09.pdf>. Acesso em: 13 out. 2022.

MENDIETA, J. D. P.; HIDALGO, I. G. Coordinated operation hydro/solar in the São Francisco River Basin: Energy, social and environmental aspects. *In*: THE 13 TH LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION, 2019 Santiago de Chile. **Anais [...]**. Santiago de Chile: CLAGTEE, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/358008775_Coordinated_Operation_Hydro_Solar_in_the_Sao_Francisco_River_Basin_Energy_Social_and_Environmental_Aspects. Acesso em: 24 abr. 2022.

MME – MINISTÉRIO MINAS E ENERGIA. **Conheça as instituições do setor elétrico brasileiro e as competências de cada uma**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/conheca-as-instituicoes-do-setor-eletrico-brasileiro-e-as-competencias-de-cada-uma>. Acesso em: 09 abr. 2022.

NETA, R. M. L. *et al.* Análise de desempenho através do performance ratio de usinas fotovoltaicas na mesma latitude. *In*: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. 2022, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis, 2022. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1169/1170>. Acesso em: 02 nov. 2022.

PAULA, J. F. S. *et al.* Análise comparativa de desempenho de um sistema fotovoltaico simulado com as ferramentas PVsyst e SAM (System Advisor Model). *In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2022, Florianópolis. Anais [...]*. Florianópolis, 2022. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1183/1184>. Acesso em: 02 nov. 2022.

PEREIRA, D. S.; NETO, R. S. Diversificação de fontes geradoras da matriz elétrica brasileira: uma revisão sistemática. **Meio Ambiente (Brasil)**. v.3, n.1, p. 02 – 21. 2020. Disponível em: <https://www.meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/75>. Acesso em: 20 abr. 2022.

PEREIRA, L. F. *et al.* Integrando geotecnologias simples e gratuitas para avaliar usos/coberturas da terra: QGIS e Google Earth Pro. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. Ouro Preto. v. 03, n. 03, p. 250 – 264. 2018. Disponível em: <http://ead.codai.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/1839/482482599>. Acesso em: 07 mai. 2022.

PORTAL SOLAR, **Cidade de Huainan, na China, coloca em funcionamento maior usina solar flutuante**. 2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/mercado/internacional/cidade-de-huainan-na-china-coloca-em-funcionamento-maior-usina-solar-flutuante>. Acesso em: 21 abr. 2022.

POURAN, H. M. *et al.* Environmental and technical impacts of floating photovoltaic plants as an emerging clean energy technology. **Iscience**, [S.L.], v. 25, n. 11, p. 1-16, nov. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isci.2022.105253>. Disponível em: [https://www.cell.com/iscience/fulltext/S2589-0042\(22\)01525-5?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2589004222015255%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/iscience/fulltext/S2589-0042(22)01525-5?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2589004222015255%3Fshowall%3Dtrue). Acesso em: 07 nov. 2022.

PURIFICAÇÃO, R. A. N.; RAMOS, H. R.; KNISS, C. T. Barreiras e facilitadores para o uso da energia fotovoltaica: uma revisão sistemática da literatura. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S. l.], v. 16, n. 2, 2020. DOI: 10.17271/1980082716220202327. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/2327. Acesso em: 15 abr. 2022.

QGIS.org. **QGIS - Geographic Information System**, Open Source Geospatial Foundation Project. 2020. Disponível em: <http://www.qgis.org/>. Acesso em: 28 set. 2022.

RELLA, R. Energia solar fotovoltaica no Brasil. **Revista de Iniciação Científica**, Criciúma, v. 15, n. 1, p. 1-10, jan. 2017. Disponível em: <http://periodicos.unesc.net/iniciacaocientifica/article/view/2937/3530>. Acesso em: 14 abr. 2022.

RODRIGUES, P. S. F. *et al.* Plataforma fotovoltaica flutuante de Sobradinho (BA) - Desafios e estratégias de implantação. *In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE*

ENERGIA SOLAR, 2020, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza, 2020. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/867>. Acesso em: 21 abr. 2022.

SERVIDOR DE DADOS DE GEOCIÊNCIAS DO IBGE. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 17 out. 2022

SILVA, T. L. *et al.* Uso do QGIS para a confecção de mapas exploratórios de solos das microrregiões de Guarabira e João Pessoa, PB. *In: XV SEMANA DE AGRONOMIA, CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA*. 2019, Paraíba. **Anais [...]**. Paraíba, 2019. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/era/article/view/9248/6587>. Acesso em: 07 mai. 2022.

TIEPOLO, G. M. *et al.* Atlas de energia solar do estado do Paraná – Resultados. **Revista Brasileira de Energia Solar**. v. 9, n. 1, p. 01-10, 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/671>. Acesso em: 07 out. 2022.

TINA, G. M.; SCAVO, F. B. Energy performance analysis of tracking floating photovoltaic systems. **Heliyon**, [S.L.], v. 8, n. 8, p. 1-11, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10088>. Disponível em: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(22\)01376-7?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844022013767%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(22)01376-7?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844022013767%3Fshowall%3Dtrue). Acesso em: 27 out. 2022.

APÊNDICE A – Simulação com 1% da área de reservatório.



Versão 7.2.21

PVsyst AVALIAÇÃO

PVsyst - Relatório da simulação

Sistema acoplado à rede

Projeto: Proposta de UFF em operação coordenada com UHE

Variante: UFF Represa Foz de Areia

Sem desenho 3D de sombras, sem sombras

Potência sistema: 239.7 MWp

Pinhão - Brasil

PVsyst AVALIAÇÃO

PVsyst AVALIAÇÃO

PVsyst AVALIAÇÃO

PVsyst AVALIAÇÃO

Autor: Bruno Henrique Tonon

**PVsyst V7.2.21**

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:57
com v7.2.21

Projeto: UFF - UHE
Variante: UFF Represa Foz de Areia

Resumo do projeto

Localização geográfica	Localização	Parâmetros projeto
Pinhão	Latitude -26.01 °S	Albedo 0.20
Brasil	Longitude -51.66 °W	
	Altitude 746 m	
	Fuso horário UTC-3	
Dados meteorológicos		
Pinhão		
Meteonorm 8.0 (2006-2017), Sat=100% - Sintético		

Resumo do sistema

Sistema acoplado à rede	Sem desenho 3D de sombras, sem sombras		
Simulação para o ano n° 1			
Orientação do plano dos módulos	Sombras próximas	Exigências do consumidor	
Plano fixo	Sem sombras	Carga ilimitada (rede)	
Inclinação/Azimute 10 / 0 °			
Informação do sistema		Inversores	
Grupo FV		Número de unidades	61 unidades
Número de módulos 564004 unidades		Pnom total	185.4 MWca
Pnom total 239.7 MWp		Rácio Pnom	1.293

Resumo dos resultados

Energia produzida 381.1 GWh/ano	Produção específica 1590 kWh/kWp/ano	Índice de perf. PR 81.18 %
---------------------------------	--------------------------------------	----------------------------

Índice

Página de rosto	1
Resumo do projeto e dos resultados	2
Parâmetros gerais, Características do grupo FV, Perdas do sistema	3
Definição do horizonte	5
Resultados principais	6
Diagrama de perdas	7
Gráficos especiais	8
Ferramenta de envelhecimento	9
Gráficos predefinidos	11
Avaliação P50 – P90	16
Custo do sistema	17
Balanço de emissões CO ₂	18



Projeto: UFF - UHE
Variante: UFF Represa Foz de Areia

PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:57
com v7.2.21

Parâmetros gerais

Sistema acoplado à rede		Sem desenho 3D de sombras, sem sombras	
Orientação do plano dos módulos			
Orientação		Configuração dos sheds	Modelos utilizados
Plano fixo		Não há um desenho 3D definido	Transposição Hay
Inclinação/Azimute	10 / 0 °		Difuso Perez, Meteorom Cicumsolar separado
Horizonte		Sombras próximas	Exigências do consumidor
Altura média	5.5 °	Sem sombras	Carga ilimitada (rede)

Características do grupo FV

Módulo FV		Inversor	
Fabricante	Generic	Fabricante	Generic
Modelo	CS3W-425MS 1500V	Modelo	LV5-1566
(Base de dados original do PVsyst)		(Base de dados original do PVsyst)	
Potência unitária	425 Wp	Potência unitária	3040 kWca
Número de módulos FV	564004 unidades	Número de inversores	61 unidades
Nominal (STC)	239.7 MWp	Potência total	185440 kWca
Módulos	20143 Strings x 28 Em série	Tensão de funcionamento	936-1300 V
Em condições de func. (50°C)		Potência máx. (=>25°C)	3430 kWca
Pmpp	219.0 MWp	Rácio Pnom (DC:AC)	1.29
Umpp	1007 V		
I mpp	217591 A		
Potência FV total		Potência total inversor	
Nominal (STC)	239702 kWp	Potência total	185440 kWca
Total	564004 módulos	Número de inversores	61 unidades
Superfície módulos	1245989 m²	Rácio Pnom	1.29

Perdas do grupo

Perdas sujidade grupo		Fator de perdas térm.		Perdas de cablagem DC				
Fração perdas	3.0 %	Temperatura módulos em função irradiância		Res. global do grupo	0.076 mΩ			
		Uc (const.)	20.0 W/m²K	Fração perdas	1.5 % em STC			
		Uv (vento)	0.0 W/m²K/m/s					
Perdas diodo série		Perdas de qualidade dos módulos		Perdas dos módulos com mismatch				
Queda de tensão	0.7 V	Fração perdas	-0.6 %	Fração perdas	2.0 % no MPP			
Fração perdas	0.1 % em STC							
Perdas devidas a mismatch, em fiadas		Degradação média dos módulos						
Fração perdas	0.1 %	Ano n°	1					
		Fator de perda	0.4 %/ano					
		Mismatch devido à degradação						
		RMS da dispersão de Imp	0.4 %/ano					
		RMS da dispersão de Vmp	0.4 %/ano					
Fator de perda IAM								
Efeito de incidência (IAM): Perfil personalizado								
10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0.998	0.998	0.995	0.992	0.986	0.970	0.917	0.763	0.000



Projeto: UFF - UHE
 Variante: UFF Represa Foz de Areia

PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:57
 com v7.2.21

Perdas do grupo

Correção espectral

Modelo FirstSolar

Água precipitável estimada a partir de humidade relativa

Conjunto de coeficientes	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Monocrystalline Si	0,85914	-0,02088	-0,0058853	0,12029	0,026814	-0,001781

Perdas do sistema

Indisponibilidade do sistema

Fração tempo 2.0 %

7.3 dias,

3 períodos

Perdas de cablagem CA

Linha de saída do inversor até ao ponto de injeção

Tensão inversor 660 Vac tri

Fração perdas 0.00 % em STC

Inversor: LV5-1566

Secção cabos (61 Inv.) Cobre 61 x 3 x 2500 mm²

Comprimento médio dos cabos 0 m



Projeto: UFF - UHE
Variante: UFF Represa Foz de Areia

PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:57
com v7.2.21

Resultados principais

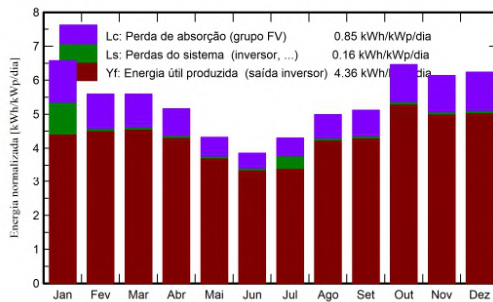
Produção do sistema

Energia produzida 381.1 GWh/ano

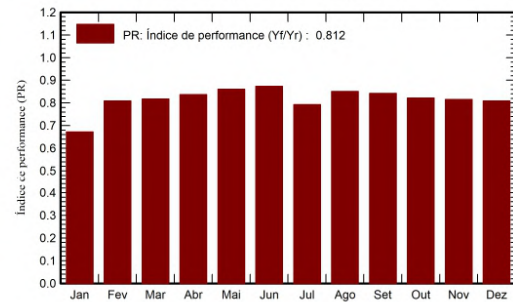
Produção específica
Índice de performance (PR)

1590 kWh/kWp/ano
81.18 %

Produções normalizadas (por kWp instalado)



Índice de performance (PR)



Balances e resultados principais

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	GWh	GWh	rácio
Janeiro	208.7	92.70	24.05	204.0	191.6	39.85	32.87	0.672
Fevereiro	155.6	70.90	23.87	156.6	147.6	30.78	30.37	0.809
Março	166.2	60.20	22.63	173.3	164.1	34.40	33.96	0.817
Abril	141.9	50.50	20.29	154.9	146.2	31.49	31.09	0.837
Mai	117.6	41.20	17.09	134.0	126.6	28.02	27.64	0.860
Junho	99.4	34.90	14.86	115.8	109.3	24.59	24.24	0.873
Julho	114.5	33.90	14.58	133.3	126.0	28.14	25.35	0.793
Agosto	138.7	47.40	17.14	154.6	146.1	31.95	31.54	0.851
Setembro	145.2	62.70	18.29	153.6	145.1	31.41	31.01	0.842
Outubro	196.5	68.20	20.38	200.3	189.6	39.95	39.46	0.822
Novembro	186.6	74.50	21.55	184.3	174.1	36.49	36.02	0.816
Dezembro	199.0	93.80	23.32	193.6	181.8	38.00	37.52	0.809
Ano	1869.9	730.90	19.82	1958.3	1847.9	395.08	381.08	0.812

Legendas

GlobHor	Irradiação horizontal total	EArray	Energia efetiva à saída do grupo
DiffHor	Irradiação difusa horizontal	E_Grid	Energia injetada na rede
T_Amb	Temperatura ambiente	PR	Índice de performance
GlobInc	Incidência global no plano dos sensores		
GlobEff	Global efetivo, corrigido para IAM e sombras		



Projeto: UFF - UHE
 Variante: UFF Represa Foz de Areia

PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:57
 com v7.2.21

Definição do horizonte

Horizon from PVGIS website API, Lat=-26°0'25", Long=-51°39'43", Alt=746m

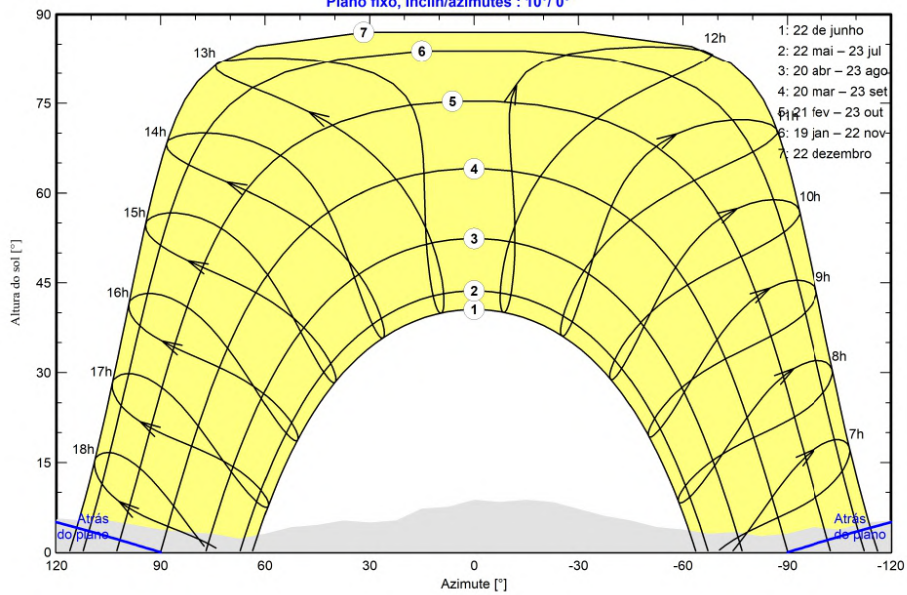
Altura média	5.5 °	Fator albedo	0.67
Fator difuso	0.98	Fração albedo	100 %

Perfil do horizonte

Azimute [°]	-180	-173	-165	-158	-150	-143	-135	-128	-120	-113	-105	-98
Altura [°]	9.5	7.3	5.7	4.6	5.0	4.2	4.6	7.3	5.3	5.0	3.8	4.2
Azimute [°]	-90	-83	-75	-68	-60	-53	-45	-38	-23	-15	-8	0
Altura [°]	3.1	2.7	3.4	3.1	3.8	4.2	5.3	6.1	8.4	8.8	8.4	8.8
Azimute [°]	8	15	23	30	38	45	53	60	68	75	83	90
Altura [°]	7.6	7.3	5.3	5.0	5.3	4.6	4.2	3.1	2.3	3.1	3.4	3.8
Azimute [°]	98	105	113	120	128	135	143	165	173			
Altura [°]	4.6	5.3	5.3	5.7	6.1	6.1	7.6	7.6	9.2			

Trajórias solares (diagrama Altura/Azimute)

Plano fixo, Inclinação/azimutes : 10°/ 0°

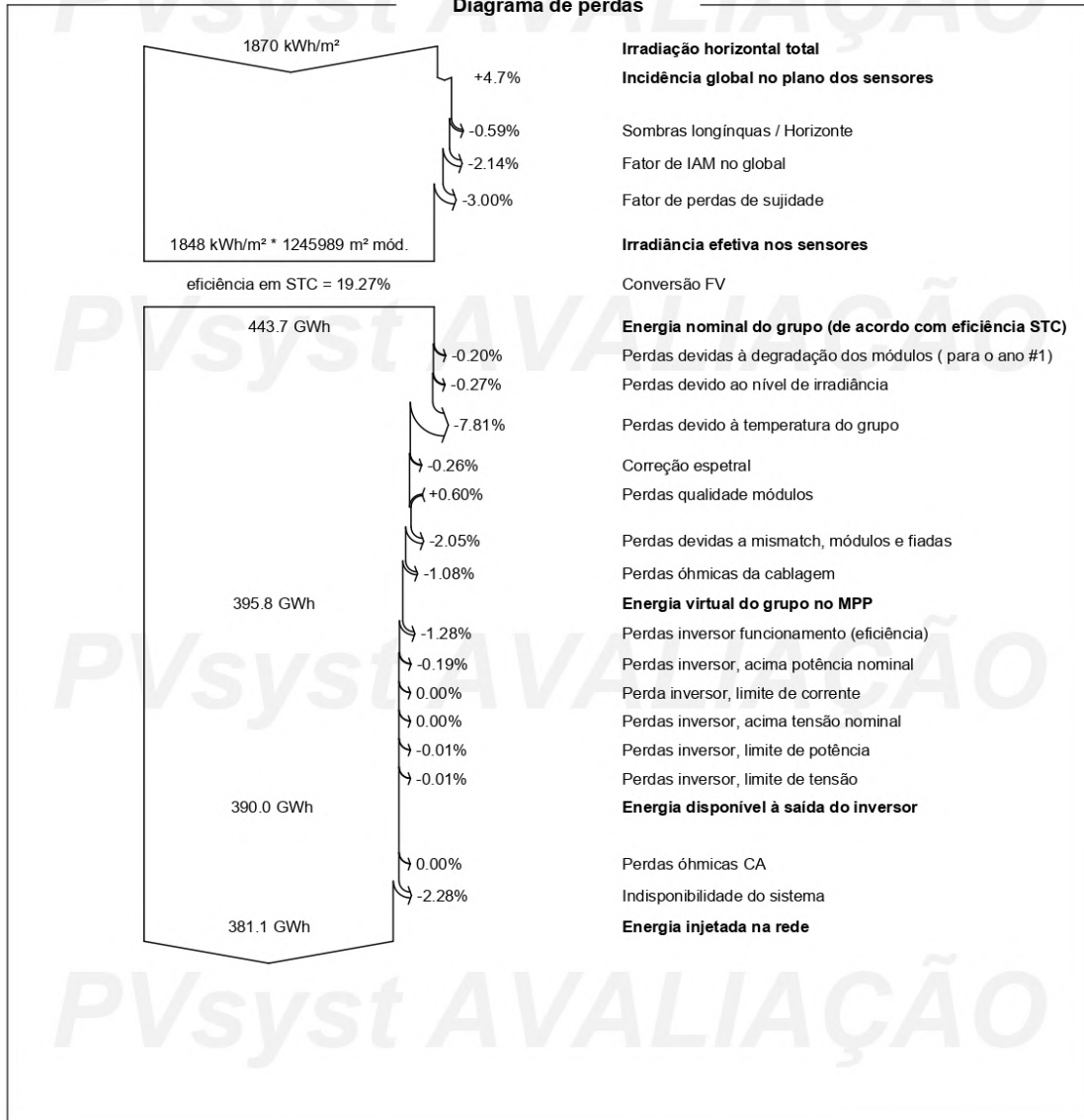




PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:57
 com v7.2.21

Diagrama de perdas



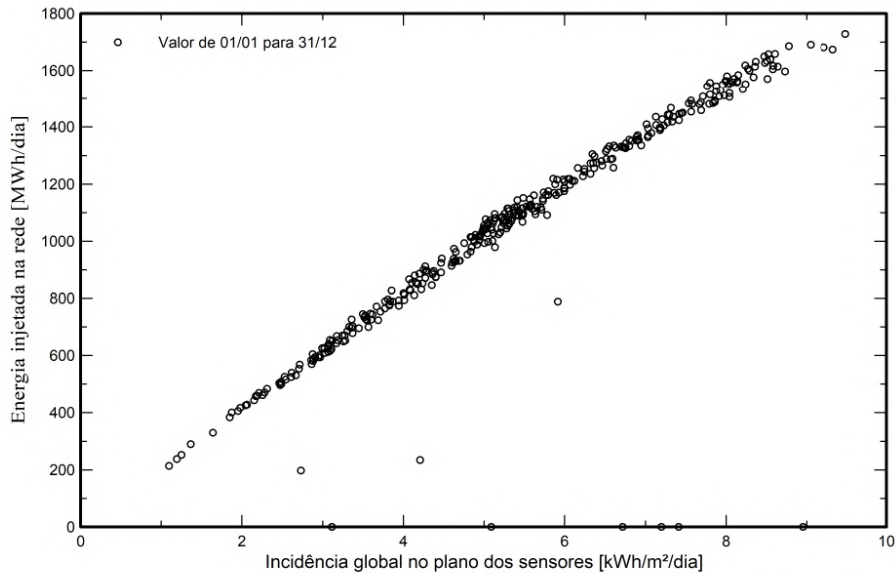


PVsyst V7.2.21

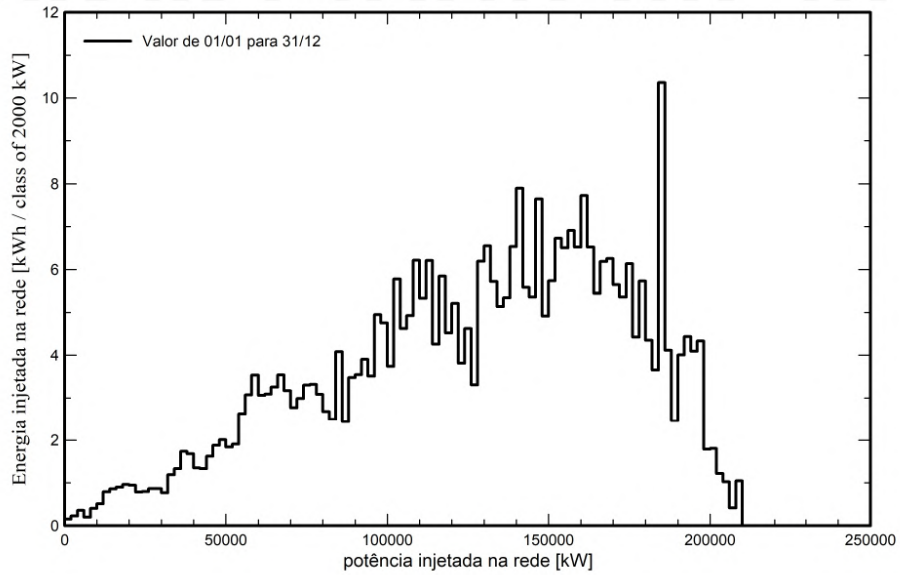
VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:57
com v7.2.21

Gráficos especiais

Diagrama de entrada / saída diário



Distribuição da potência à saída do sistema





Projeto: UFF - UHE
 Variante: UFF Represa Foz de Areia

PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:57
 com v7.2.21

Ferramenta de envelhecimento

Parâmetros do envelhecimento

Intervalo total da simulação 30 anos

Degradação média dos módulos

Fator de perda 0.4 %/ano

Mismatch devido à degradação

RMS da dispersão de Imp 0.4 %/ano

RMS da dispersão de Vmp 0.4 %/ano

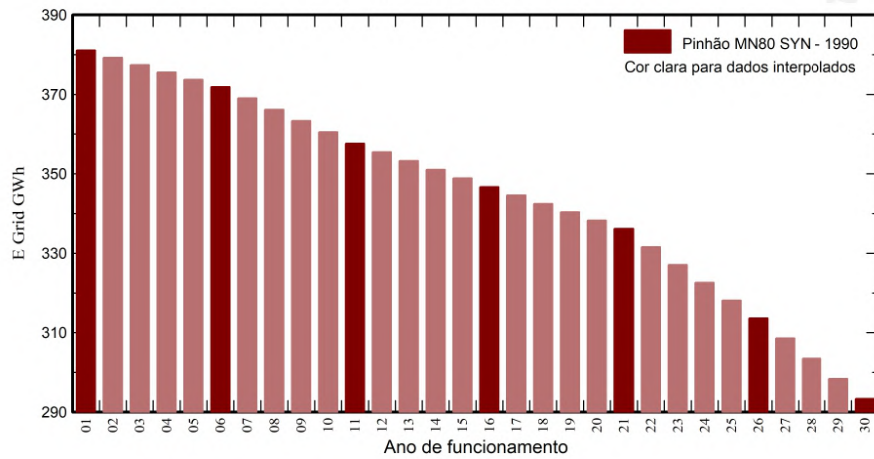
Meteorologia utilizada para a simulação

#1 Pinhão MN80 SYN

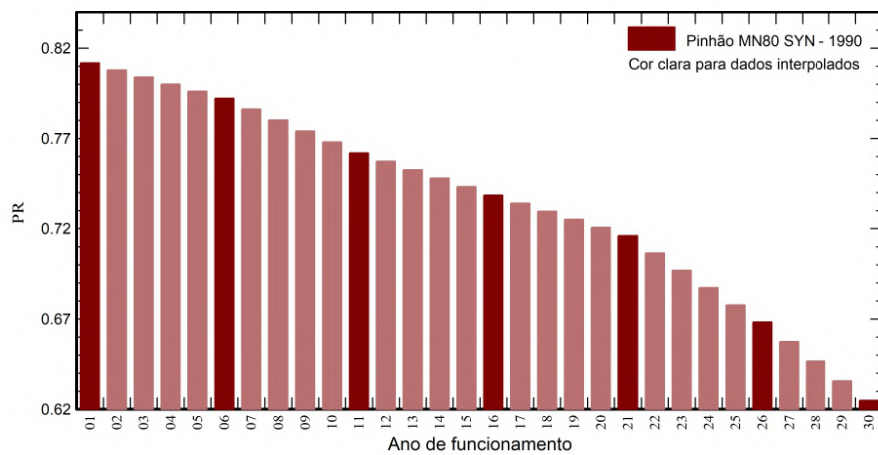
Anos 1990 (ano de referência)

Anos simulados 1,6,11,16,21,26,30

Energia injetada na rede



Índice de performance





Projeto: UFF - UHE

Variante: UFF Represa Foz de Areia

PVsyst V7.2.21VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:57
com v7.2.21**Ferramenta de envelhecimento****Parâmetros do envelhecimento**

Intervalo total da simulação 30 anos

Degradação média dos módulos

Fator de perda 0.4 %/ano

Mismatch devido à degradação

RMS da dispersão de Imp 0.4 %/ano

RMS da dispersão de Vmp 0.4 %/ano

Meteorologia utilizada para a simulação**#1 Pinhão MN80 SYN**

Anos 1990 (ano de referência)

Anos simulados 1,6,11,16,21,26,30

Pinhão MN80 SYN

Ano	E Grid		PR	Perda de PR	
		GWh			%
1		381.1	0.812		0%
2		379.2	0.808		-0.5%
3		377.4	0.804		-1%
4		375.6	0.8		-1.4%
5		373.7	0.796		-1.9%
6		371.9	0.792		-2.4%
7		369.0	0.786		-3.2%
8		366.2	0.78		-3.9%
9		363.3	0.774		-4.7%
10		360.5	0.768		-5.4%
11		357.6	0.762		-6.1%
12		355.4	0.757		-6.7%
13		353.3	0.753		-7.3%
14		351.1	0.748		-7.9%
15		348.9	0.743		-8.5%
16		346.7	0.739		-9%
17		344.6	0.734		-9.6%
18		342.5	0.73		-10.1%
19		340.3	0.725		-10.7%
20		338.2	0.721		-11.2%
21		336.1	0.716		-11.8%
22		331.6	0.707		-13%
23		327.1	0.697		-14.1%
24		322.7	0.687		-15.3%
25		318.2	0.678		-16.5%
26		313.7	0.668		-17.7%
27		308.6	0.657		-19%
28		303.5	0.647		-20.4%
29		298.4	0.636		-21.7%
30		293.4	0.625		-23%

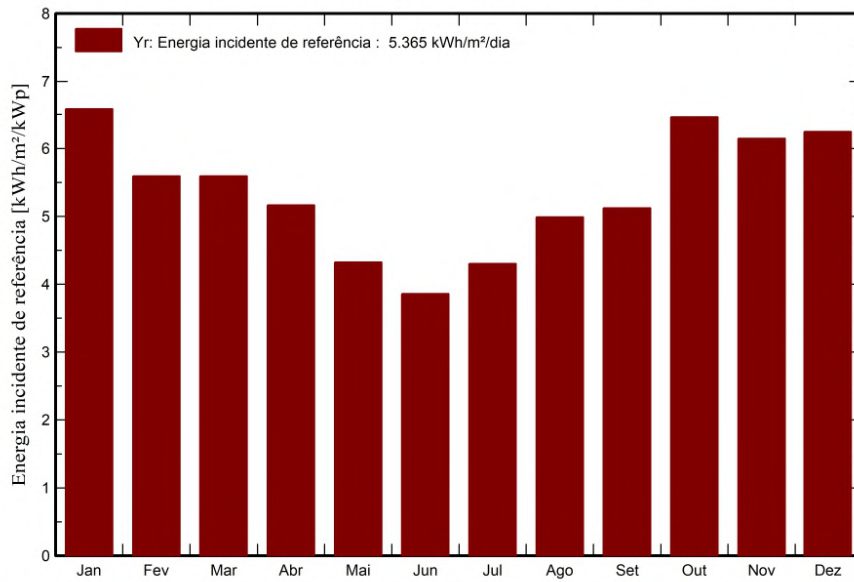


PVsyst V7.2.21

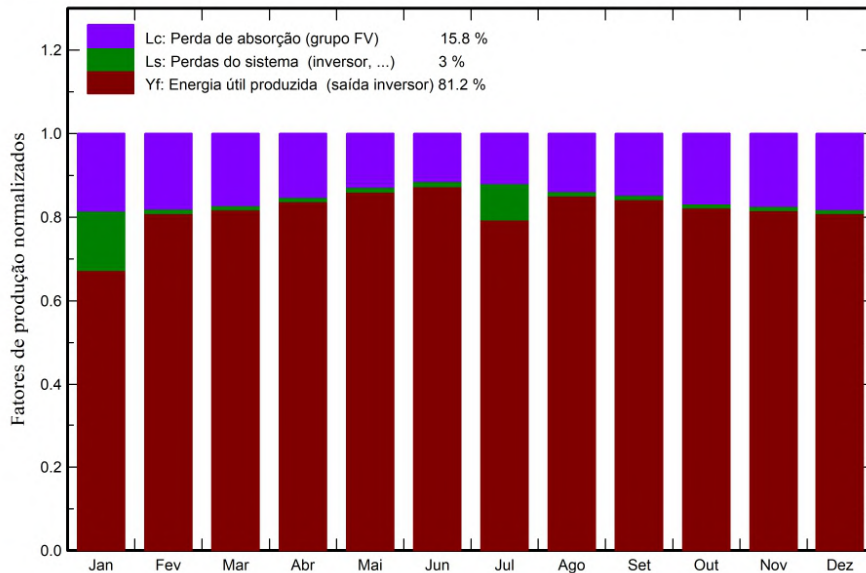
VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:57
 com v7.2.21

Gráficos predefinidos

Energia incidente de referência, no plano dos sensores



Fatores de produção e de perdas normalizados



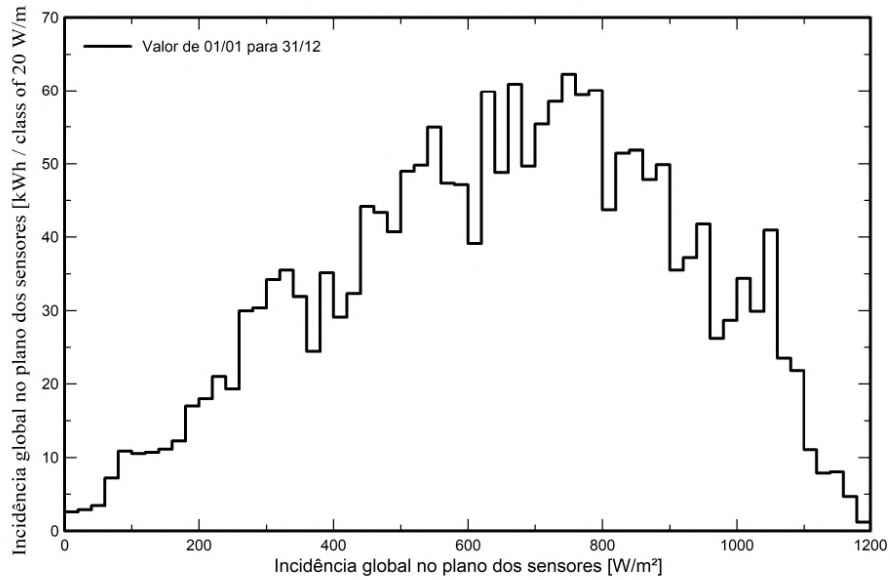


PVsyst V7.2.21

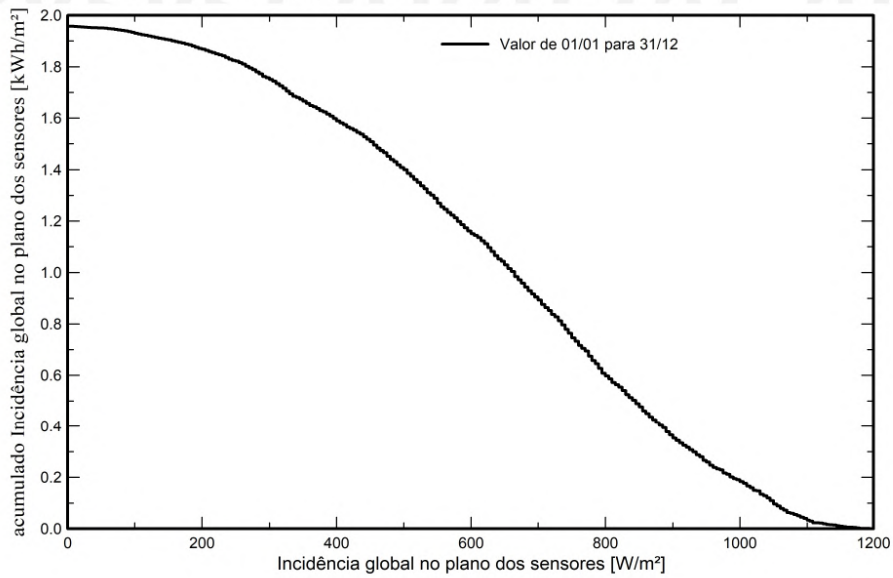
VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:57
com v7.2.21

Gráficos predefinidos

Distribuição da irradiação incidente



Distribuição cumulativa da irradiação incidente



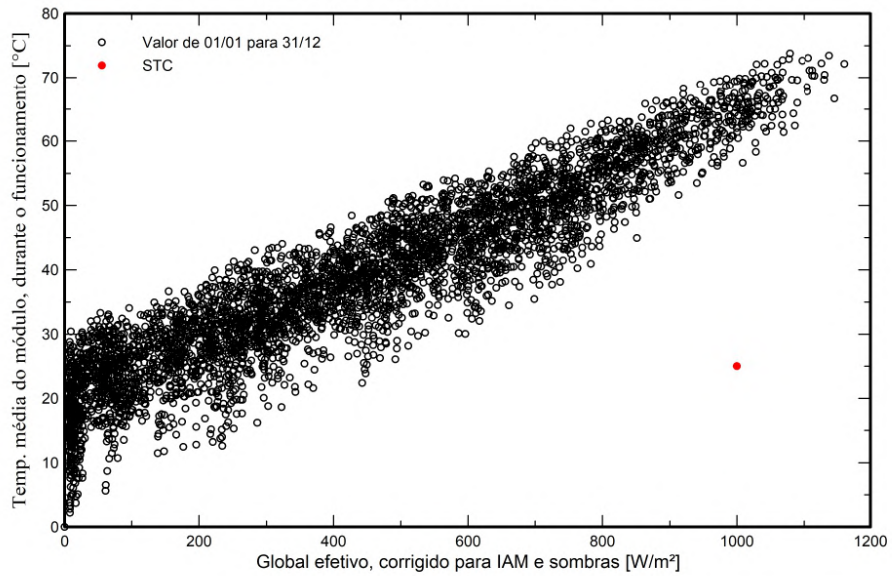


PVsyst V7.2.21

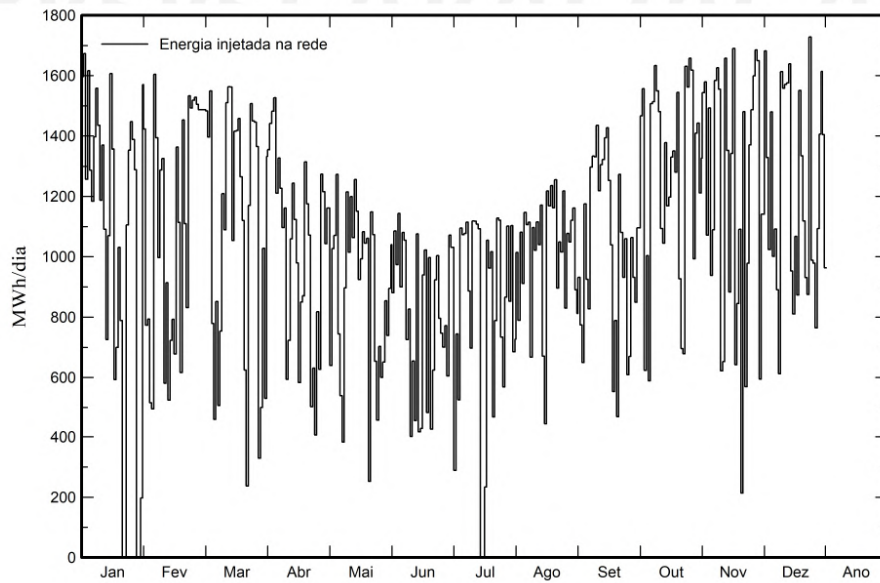
VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:57
com v7.2.21

Gráficos predefinidos

temperatura do grupo / irradiância efetiva



Energia diária à saída do sistema



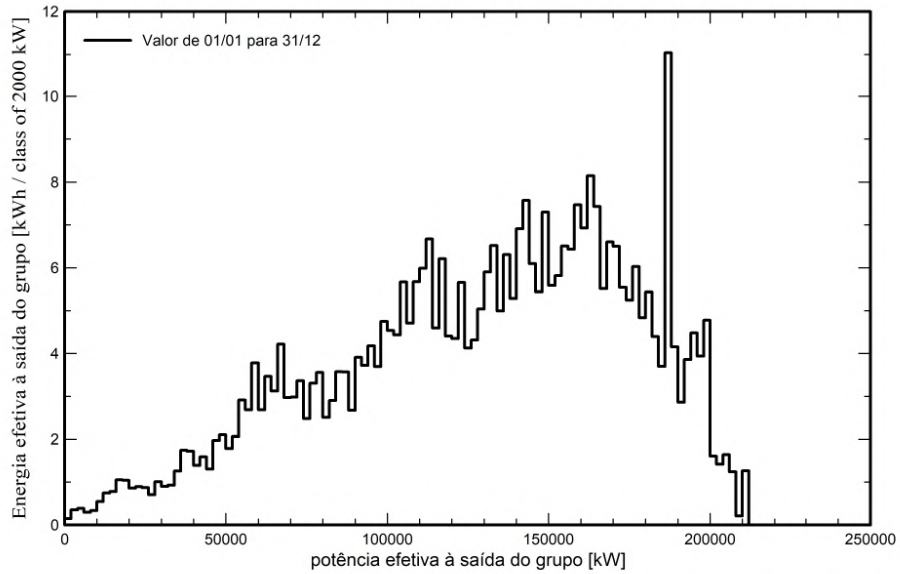


PVsyst V7.2.21

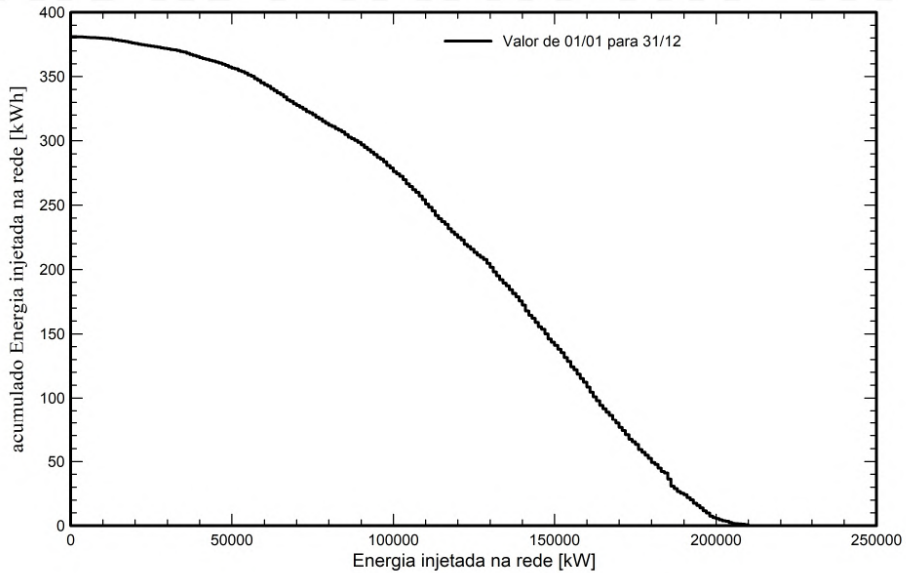
VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:57
com v7.2.21

Gráficos predefinidos

Distribuição da potência do grupo



Distribuição de cauda (ccdf) da potência, à saída do sistema



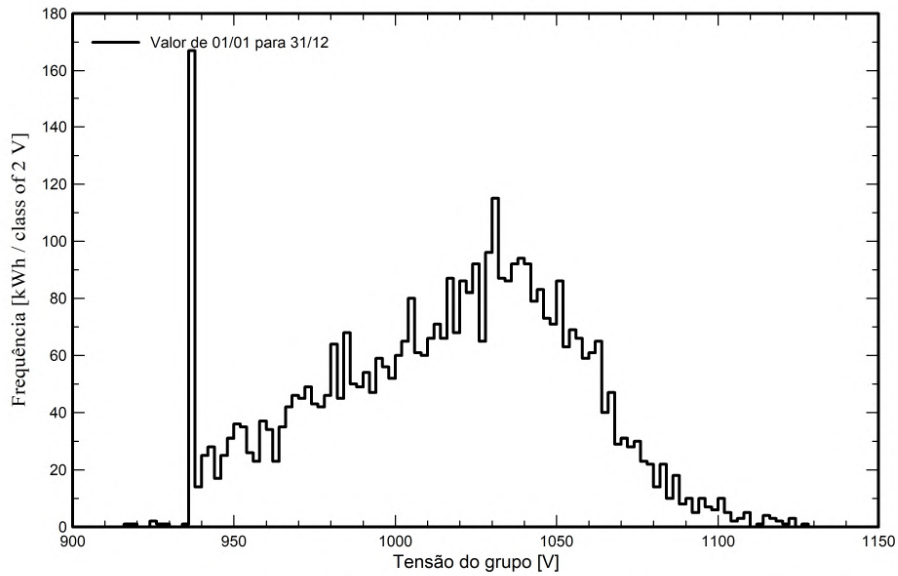


PVsyst V7.2.21

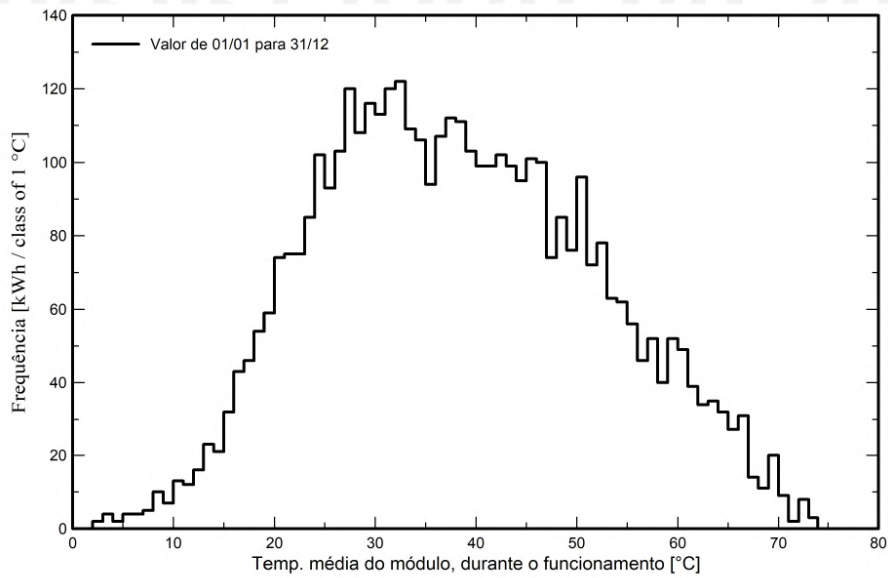
VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:57
com v7.2.21

Gráficos predefinidos

Distribuição da tensão do grupo



Distribuição da temperatura do grupo durante o funcionamento





PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:57
 com v7.2.21

Avaliação P50 – P90

Dados meteorológicos

Origem Meteororm 8.0 (2006-2017), Sat=100%
 Tipo Médias mensais
 Sintético - Média plurianual
 Variação de um ano para o outro (Variância) 4.5 %

Desvio especificado

Mudança climática 0.0 %

Varição global (meteorologia e sistema)

Varição (Soma quadrática) 4.9 %

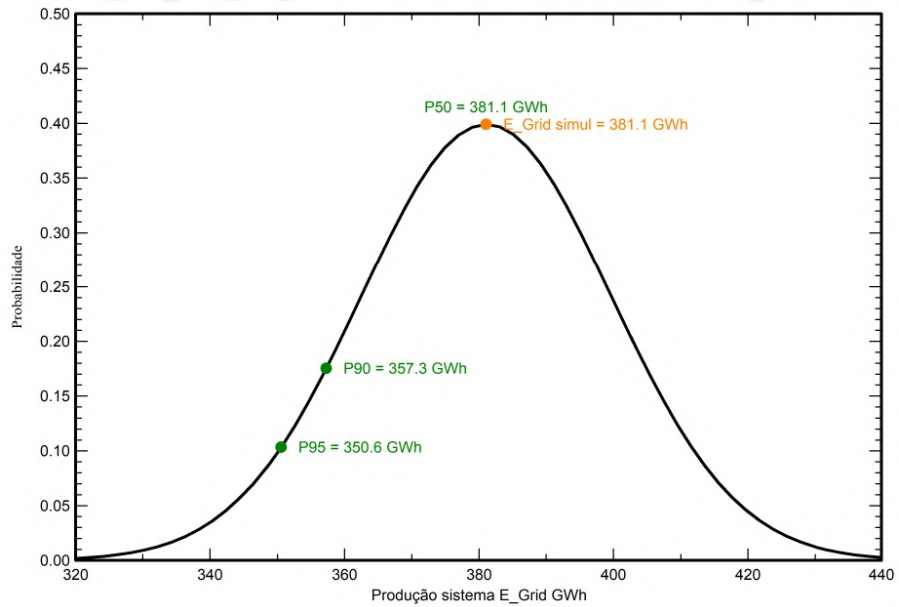
Incertezas sobre a simulação e os parâmetros

Parâm./modelo do módulo FV 1.0 %
 Incerteza eficiência do inversor 0.5 %
 Incertezas sujidade e mismatch 1.0 %
 Incerteza acerca da degradação 1.0 %

Probabilidade de produção anual

Varição 18.6 GWh
 P50 381.1 GWh
 P90 357.3 GWh
 P95 350.6 GWh

Distribuição de probabilidade




PVsyst V7.2.21

 VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:57
 com v7.2.21

 Projeto: UFF - UHE
 Variante: UFF Represa Foz de Areia

Custo do sistema
Custos da instalação

Item	Quantidade unidades	Custo BRL	Total BRL
Total			0.00
Bem amortizável			0.00

Custos de operação

Item	Total BRL/ano
Total (OPEX)	0.00

Resumo do sistema

Custo total de instalação	0.00 BRL
Custos de operação	0.00 BRL/ano
Energia produzida	381082 MWh/ano
Custo da energia produzida (LCOE)	0.000 BRL/kWh



Projeto: UFF - UHE
 Variante: UFF Represa Foz de Areia

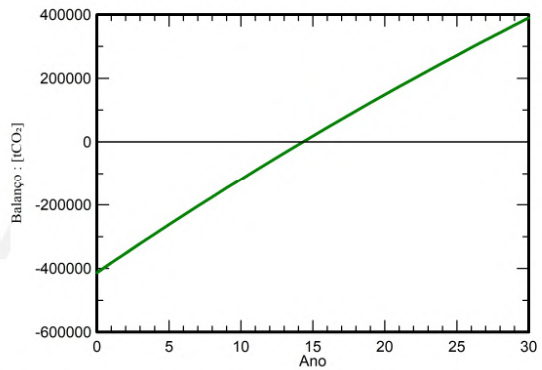
PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:57
 com v7.2.21

Balanco de emissões CO₂

Total: 389890.8 tCO₂
Emissões geradas
 Total: 413592.31 tCO₂
 Origem: Cálculo em detalhe na tabela abaixo:
Emissões evitadas
 Total: 926028.7 tCO₂
 Produção do sistema: 381081.76 MWh/ano
 LCE - Emissões da rede: 81 gCO₂/kWh
 Origem: Lista TEA
 País: Brazil
 Tempo de vida: 30 anos
 Deterioração anual: 1.0 %

Economia de emissões de CO₂ em função do tempo



Pormenores das emissões durante o ciclo de vida do sistema

Item	LCE	Quantidade	Subtotal
			[kgCO ₂]
Módulos	1713 kgCO ₂ /kWp	239702 kWp	410541896
Suporta	0.54 kgCO ₂ /kg	5640040 kg	3047144
Inversores	53.5 kgCO ₂ /unidades	61.0 unidades	3265

APÊNDICE B – Simulação com 5% da área de reservatório.



Versão 7.2.21

PVsyst AVALIAÇÃO

PVsyst - Relatório da simulação

Sistema acoplado à rede

Projeto: Proposta de UFF em operação coordenada com UHE

Variante: UFF Represa Foz de Areia

Sem desenho 3D de sombras, sem sombras

Potência sistema: 1199 MWp

Pinhão - Brasil

PVsyst AVALIAÇÃO

PVsyst AVALIAÇÃO

PVsyst AVALIAÇÃO

PVsyst AVALIAÇÃO

Autor: Bruno Henrique Tonon


PVsyst V7.2.21

 VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:36
 com v7.2.21

Projeto: UFF - UHE
 Variante: UFF Represa Foz de Areia

Resumo do projeto

Localização geográfica Pinhão Brasil	Localização Latitude -26.01 °S Longitude -51.66 °W Altitude 746 m Fuso horário UTC-3	Parâmetros projeto Albedo 0.20
Dados meteorológicos Pinhão Meteororm 8.0 (2006-2017), Sat=100% - Sintético		

Resumo do sistema

Sistema acoplado à rede Simulação para o ano n° 10	Sem desenho 3D de sombras, sem sombras		
Orientação do plano dos módulos Plano fixo Inclinação/Azimute 10 / 0 °	Sombras próximas Sem sombras	Exigências do consumidor Carga ilimitada (rede)	
Informação do sistema			
Grupo FV		Inversores	
Número de módulos	2820020 unidades	Número de unidades	304 unidades
Pnom total	1199 MWp	Pnom total	924.2 MWca
		Rácio Pnom	1.297

Resumo dos resultados

Energia produzida	1802 GWh/ano	Produção específica	1503 kWh/kWp/ano	Índice de perf. PR	76.77 %
-------------------	--------------	---------------------	------------------	--------------------	---------

Índice

Página de rosto	1
Resumo do projeto e dos resultados	2
Parâmetros gerais, Características do grupo FV, Perdas do sistema	3
Definição do horizonte	5
Resultados principais	6
Diagrama de perdas	7
Gráficos especiais	8
Avaliação P50 – P90	9
Custo do sistema	10
Balanço de emissões CO ₂	11



Projeto: UFF - UHE

Variante: UFF Represa Foz de Areia

PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:36
com v7.2.21

Parâmetros gerais

Sistema acoplado à rede		Sem desenho 3D de sombras, sem sombras	
Orientação do plano dos módulos			
Orientação		Configuração dos sheds	Modelos utilizados
Plano fixo		Não há um desenho 3D definido	Transposição Hay
Inclinação/Azimute	10 / 0 °		Diíuso Perez, Meteorom
			Cicumsolar separado
Horizonte		Sombras próximas	Exigências do consumidor
Altura média	5.5 °	Sem sombras	Carga ilimitada (rede)

Características do grupo FV

Módulo FV		Inversor	
Fabricante	Generic	Fabricante	Generic
Modelo	CS3W-425MS 1500V	Modelo	LV5-1566
(Base de dados original do PVsyst)		(Base de dados original do PVsyst)	
Potência unitária	425 Wp	Potência unitária	3040 kWca
Número de módulos FV	2820020 unidades	Número de inversores	304 unidades
Nominal (STC)	1199 MWp	Potência total	924160 kWca
Módulos	100715 Strings x 28 Em série	Tensão de funcionamento	936-1300 V
Em condições de func. (50°C)		Potência máx. (=>25°C)	3430 kWca
Pmpp	1095 MWp	Rácio Pnom (DC:AC)	1.30
Umpp	1007 V		
I mpp	1087954 A		
Potência FV total		Potência total inversor	
Nominal (STC)	1198509 kWp	Potência total	924160 kWca
Total	2820020 módulos	Número de inversores	304 unidades
Superfície módulos	6229943 m²	Rácio Pnom	1.30

Perdas do grupo

Perdas sujidade grupo		Fator de perdas térm.		Perdas de cablagem DC				
Fração perdas	3.0 %	Temperatura módulos em função irradiância		Res. global do grupo	0.015 mΩ			
		Uc (const.)	20.0 W/m²K	Fração perdas	1.5 % em STC			
		Uv (vento)	0.0 W/m²K/m/s					
Perdas diodo série		Perdas de qualidade dos módulos		Perdas dos módulos com mismatch				
Queda de tensão	0.7 V	Fração perdas	-0.6 %	Fração perdas	2.0 % no MPP			
Fração perdas	0.1 % em STC							
Perdas devidas a mismatch, em fiadas		Degradação média dos módulos						
Fração perdas	0.1 %	Ano n°	10					
		Fator de perda	0.4 %/ano					
		Mismatch devido à degradação						
		RMS da dispersão de Imp	0.4 %/ano					
		RMS da dispersão de Vmp	0.4 %/ano					
Fator de perda IAM								
Efeito de incidência (IAM): Perfil personalizado								
10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0.998	0.998	0.995	0.992	0.986	0.970	0.917	0.763	0.000


PVsyst V7.2.21

 VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:36
 com v7.2.21

 Projeto: UFF - UHE
 Variante: UFF Represa Foz de Areia

Perdas do grupo
Correção espectral

Modelo FirstSolar

Água precipitável estimada a partir de humidade relativa

Conjunto de coeficientes	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Monocrystalline Si	0,85914	-0,02088	-0,0058853	0,12029	0,026814	-0,001781

Perdas do sistema
Indisponibilidade do sistema

Fração tempo 2.0 %

7.3 dias,

3 períodos

Perdas de cablagem CA
Linha de saída do inversor até ao ponto de injeção

Tensão inversor 660 Vac tri

Fração perdas 0.00 % em STC

Inversor: LV5-1566

 Secção cabos (304 Inv.) Cobre 304 x 3 x 2500 mm²

Comprimento médio dos cabos 0 m



Projeto: UFF - UHE
 Variante: UFF Represa Foz de Areia

PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:36
 com v7.2.21

Definição do horizonte

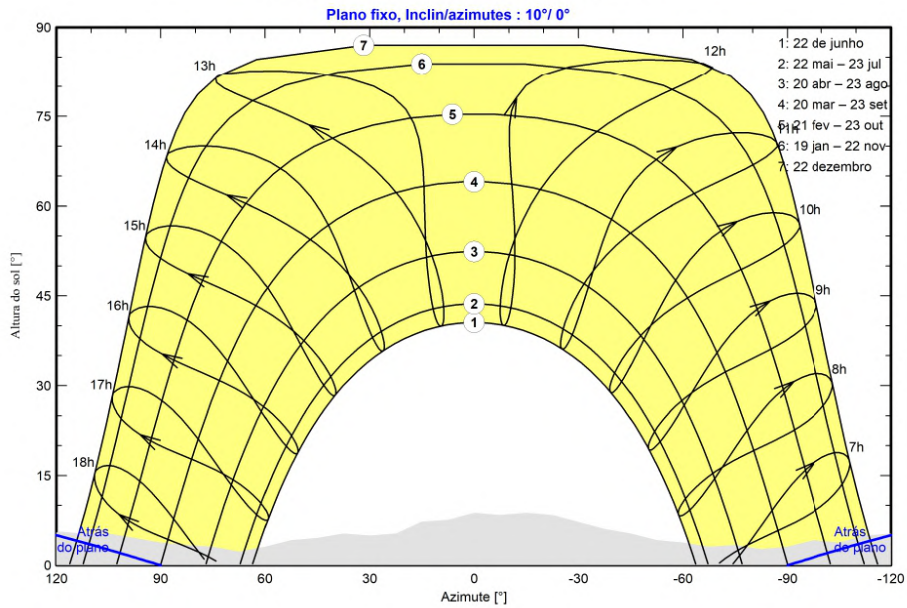
Horizon from PVGIS website API, Lat=-26°0'25", Long=-51°39'43", Alt=746m

Altura média	5.5 °	Fator albedo	0.67
Fator difuso	0.98	Fração albedo	100 %

Perfil do horizonte

Azimute [°]	-180	-173	-165	-158	-150	-143	-135	-128	-120	-113	-105	-98
Altura [°]	9.5	7.3	5.7	4.6	5.0	4.2	4.6	7.3	5.3	5.0	3.8	4.2
Azimute [°]	-90	-83	-75	-68	-60	-53	-45	-38	-23	-15	-8	0
Altura [°]	3.1	2.7	3.4	3.1	3.8	4.2	5.3	6.1	8.4	8.8	8.4	8.8
Azimute [°]	8	15	23	30	38	45	53	60	68	75	83	90
Altura [°]	7.6	7.3	5.3	5.0	5.3	4.6	4.2	3.1	2.3	3.1	3.4	3.8
Azimute [°]	98	105	113	120	128	135	143	165	173			
Altura [°]	4.6	5.3	5.3	5.7	6.1	6.1	7.6	7.6	9.2			

Trajórias solares (diagrama Altura/Azimute)





Projeto: UFF - UHE
Variante: UFF Represa Foz de Areia

PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:36
com v7.2.21

Resultados principais

Produção do sistema

Energia produzida

1802 GWh/ano

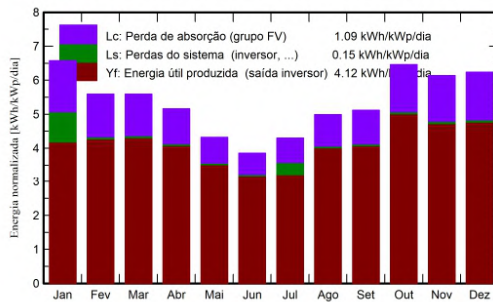
Produção específica

1503 kWh/kWp/ano

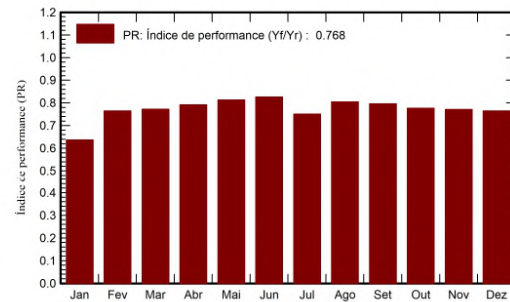
Índice de performance (PR)

76.77 %

Produções normalizadas (por kWp instalado)



Índice de performance (PR)



Balancos e resultados principais

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	GWh	GWh	rácio
Janeiro	208.7	92.70	24.05	204.0	191.6	188.7	155.5	0.636
Fevereiro	155.6	70.90	23.87	156.6	147.6	145.6	143.6	0.765
Março	166.2	60.20	22.63	173.3	164.1	162.5	160.4	0.772
Abril	141.9	50.50	20.29	154.9	146.2	148.9	147.0	0.792
Mai	117.6	41.20	17.09	134.0	126.6	132.6	130.7	0.814
Junho	99.4	34.90	14.86	115.8	109.3	116.3	114.6	0.826
Julho	114.5	33.90	14.58	133.3	126.0	133.1	119.9	0.750
Agosto	138.7	47.40	17.14	154.6	146.1	151.1	149.2	0.805
Setembro	145.2	62.70	18.29	153.6	145.1	148.6	146.7	0.796
Outubro	196.5	68.20	20.38	200.3	189.6	188.8	186.4	0.777
Novembro	186.6	74.50	21.55	184.3	174.1	172.5	170.2	0.771
Dezembro	199.0	93.80	23.32	193.6	181.8	179.8	177.5	0.765
Ano	1869.9	730.90	19.82	1958.3	1847.9	1868.4	1801.7	0.768

Legendas

GlobHor Irradiação horizontal total

DiffHor Irradiação difusa horizontal

T_Amb Temperatura ambiente

GlobInc Incidência global no plano dos sensores

GlobEff Global efetivo, corrigido para IAM e sombras

EArray Energia efetiva à saída do grupo

E_Grid Energia injetada na rede

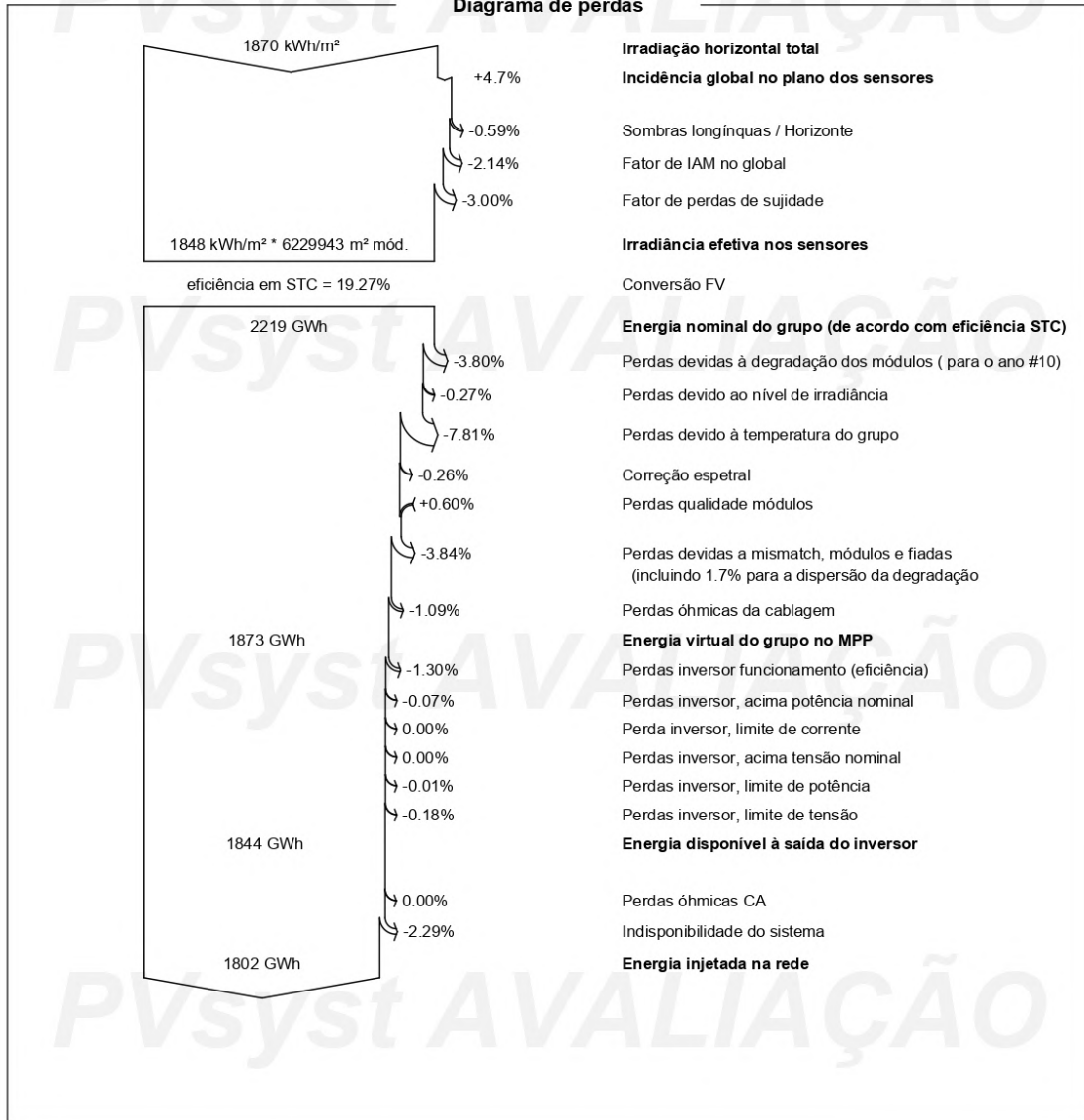
PR Índice de performance



PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:36
 com v7.2.21

Diagrama de perdas



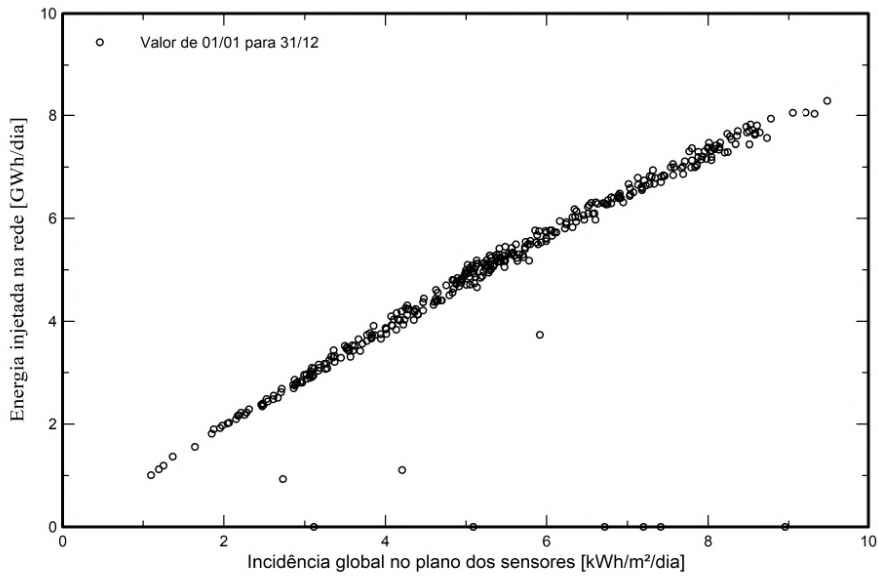


PVsyst V7.2.21

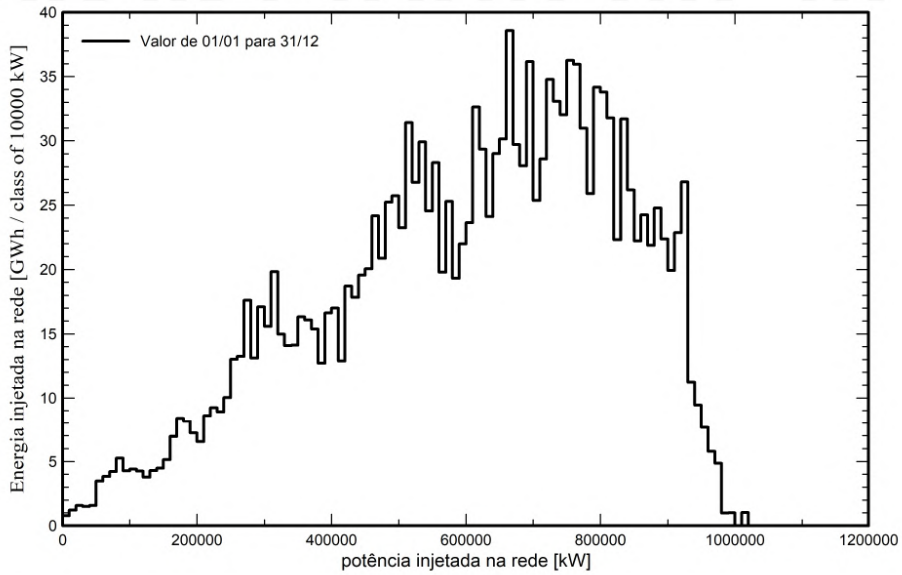
VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:36
com v7.2.21

Gráficos especiais

Diagrama de entrada / saída diário



Distribuição da potência à saída do sistema





PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:36
 com v7.2.21

Avaliação P50 – P90

Dados meteorológicos

Origem Meteororm 8.0 (2006-2017), Sat=100%
 Tipo Médias mensais
 Sintético - Média plurianual
 Variação de um ano para o outro (Variância) 4.5 %

Desvio especificado

Mudança climática 0.0 %

Varição global (meteorologia e sistema)

Varição (Soma quadrática) 4.9 %

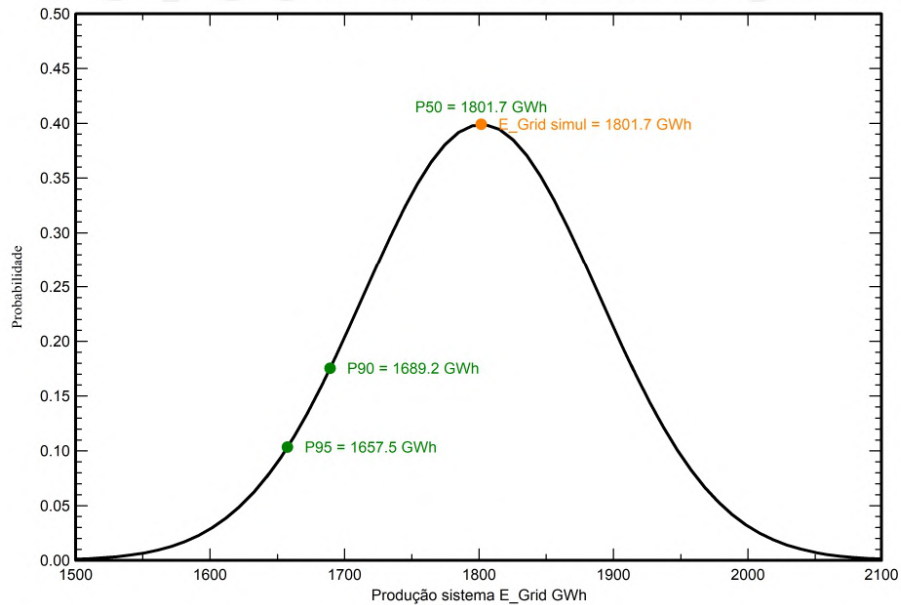
Incertezas sobre a simulação e os parâmetros

Parâm./modelo do módulo FV 1.0 %
 Incerteza eficiência do inversor 0.5 %
 Incertezas sujidade e mismatch 1.0 %
 Incerteza acerca da degradação 1.0 %

Probabilidade de produção anual

Varição 87.8 GWh
 P50 1801.7 GWh
 P90 1689.2 GWh
 P95 1657.5 GWh

Distribuição de probabilidade





PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:36
com v7.2.21

Projeto: UFF - UHE
Variante: UFF Represa Foz de Areia

Custo do sistema

Custos da instalação

Item	Quantidade unidades	Custo BRL	Total BRL
Total			0.00
Bem amortizável			0.00

Custos de operação

Item	Total BRL/ano
Total (OPEX)	0.00

Resumo do sistema

Custo total de instalação	0.00 BRL
Custos de operação	0.00 BRL/ano
Energia produzida	1801735 MWh/ano
Custo da energia produzida (LCOE)	0.000 BRL/kWh



Projeto: UFF - UHE
 Variante: UFF Represa Foz de Areia

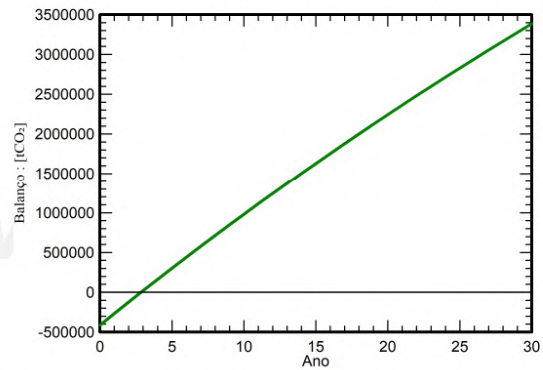
PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:36
 com v7.2.21

Balanco de emissões CO₂

Total: 3385234.4 tCO₂
Emissões geradas
 Total: 413592.31 tCO₂
 Origem: Cálculo em detalhe na tabela abaixo:
Emissões evitadas
 Total: 4378216.1 tCO₂
 Produção do sistema: 1801735.01 MWh/ano
 LCE - Emissões da rede: 81 gCO₂/kWh
 Origem: Lista TEA
 País: Brazil
 Tempo de vida: 30 anos
 Deterioração anual: 1.0 %

Economia de emissões de CO₂ em função do tempo



Pormenores das emissões durante o ciclo de vida do sistema

Item	LCE	Quantidade	Subtotal
			[kgCO ₂]
Módulos	1713 kgCO ₂ /kWp	239702 kWp	410541896
Suporta	0.54 kgCO ₂ /kg	5640040 kg	3047144
Inversores	53.5 kgCO ₂ /unidades	61.0 unidades	3265

APÊNDICE C – Simulação com 10% da área de reservatório



Versão 7.2.21

PVsyst AVALIAÇÃO

PVsyst - Relatório da simulação

Sistema acoplado à rede

Projeto: Proposta de UFF em operação coordenada com UHE

Variante: UFF Represa Foz de Areia

Sem desenho 3D de sombras, sem sombras

Potência sistema: 2397 MWp

Pinhão - Brasil

PVsyst AVALIAÇÃO

PVsyst AVALIAÇÃO

PVsyst AVALIAÇÃO

PVsyst AVALIAÇÃO

Autor: Bruno Henrique Tonon


PVsyst V7.2.21

 VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:39
 com v7.2.21

Projeto: UFF - UHE
 Variante: UFF Represa Foz de Areia

Resumo do projeto

Localização geográfica	Localização	Parâmetros projeto
Pinhão	Latitude -26.01 °S	Albedo 0.20
Brasil	Longitude -51.66 °W	
	Altitude 746 m	
	Fuso horário UTC-3	
Dados meteorológicos		
Pinhão		
Meteonorm 8.0 (2006-2017), Sat=100% - Sintético		

Resumo do sistema

Sistema acoplado à rede	Sem desenho 3D de sombras, sem sombras		
Simulação para o ano n° 10			
Orientação do plano dos módulos	Sombras próximas	Exigências do consumidor	
Plano fixo	Sem sombras	Carga ilimitada (rede)	
Inclinação/Azimute 10 / 0 °			
Informação do sistema		Inversores	
Grupo FV		Número de unidades	607 unidades
Número de módulos 5640096 unidades		Pnom total	1845 MWca
Pnom total 2397 MWp		Rácio Pnom	1.299

Resumo dos resultados

Energia produzida 3604 GWh/ano	Produção específica 1503 kWh/kWp/ano	Índice de perf. PR 76.77 %
--------------------------------	--------------------------------------	----------------------------

Índice

Página de rosto	1
Resumo do projeto e dos resultados	2
Parâmetros gerais, Características do grupo FV, Perdas do sistema	3
Definição do horizonte	5
Resultados principais	6
Diagrama de perdas	7
Gráficos especiais	8
Avaliação P50 – P90	9
Custo do sistema	10
Balanço de emissões CO ₂	11



Projeto: UFF - UHE
Variante: UFF Represa Foz de Areia

PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:39
com v7.2.21

Parâmetros gerais

Sistema acoplado à rede		Sem desenho 3D de sombras, sem sombras	
Orientação do plano dos módulos			
Orientação		Configuração dos sheds	Modelos utilizados
Plano fixo		Não há um desenho 3D definido	Transposição Hay
Inclinação/Azimute	10 / 0 °		Diíuso Perez, Meteorom
			Cicumsolar separado
Horizonte		Sombras próximas	Exigências do consumidor
Altura média	5.5 °	Sem sombras	Carga ilimitada (rede)

Características do grupo FV

Módulo FV		Inversor	
Fabricante	Generic	Fabricante	Generic
Modelo	CS3W-425MS 1500V	Modelo	LV5-1566
(Base de dados original do PVsyst)		(Base de dados original do PVsyst)	
Potência unitária	425 Wp	Potência unitária	3040 kWca
Número de módulos FV	5640096 unidades	Número de inversores	607 unidades
Nominal (STC)	2397 MWp	Potência total	1845280 kWca
Módulos	201432 Strings x 28 Em série	Tensão de funcionamento	936-1300 V
Em condições de func. (50°C)		Potência máx. (=>25°C)	3430 kWca
Pmpp	2190 MWp	Rácio Pnom (DC:AC)	1.30
Umpp	1007 V		
I mpp	2175930 A		
Potência FV total		Potência total inversor	
Nominal (STC)	2397041 kWp	Potência total	1845280 kWca
Total	5640096 módulos	Número de inversores	607 unidades
Superfície módulos	12460010 m²	Rácio Pnom	1.30

Perdas do grupo

Perdas sujidade grupo		Fator de perdas térm.		Perdas de cablagem DC				
Fração perdas	3.0 %	Temperatura módulos em função irradiância		Res. global do grupo	0.008 mΩ			
		Uc (const.)	20.0 W/m²K	Fração perdas	1.5 % em STC			
		Uv (vento)	0.0 W/m²K/m/s					
Perdas diodo série		Perdas de qualidade dos módulos		Perdas dos módulos com mismatch				
Queda de tensão	0.7 V	Fração perdas	-0.6 %	Fração perdas	2.0 % no MPP			
Fração perdas	0.1 % em STC							
Perdas devidas a mismatch, em fiadas		Degradação média dos módulos						
Fração perdas	0.1 %	Ano n°	10					
		Fator de perda	0.4 %/ano					
		Mismatch devido à degradação						
		RMS da dispersão de Imp	0.4 %/ano					
		RMS da dispersão de Vmp	0.4 %/ano					
Fator de perda IAM								
Efeito de incidência (IAM): Perfil personalizado								
10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0.998	0.998	0.995	0.992	0.986	0.970	0.917	0.763	0.000



Projeto: UFF - UHE
 Variante: UFF Represa Foz de Areia

PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:39
 com v7.2.21

Perdas do grupo

Correção espectral

Modelo FirstSolar

Água precipitável estimada a partir de humidade relativa

Conjunto de coeficientes	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Monocrystalline Si	0,85914	-0,02088	-0,0058853	0,12029	0,026814	-0,001781

Perdas do sistema

Indisponibilidade do sistema

Fração tempo 2.0 %

7.3 dias,

3 períodos

Perdas de cablagem CA

Linha de saída do inversor até ao ponto de injeção

Tensão inversor 660 Vac tri

Fração perdas 0.00 % em STC

Inversor: LV5-1566

Secção cabos (607 Inv.) Cobre 607 x 3 x 2500 mm²

Comprimento médio dos cabos 0 m



Projeto: UFF - UHE
 Variante: UFF Represa Foz de Areia

PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:39
 com v7.2.21

Definição do horizonte

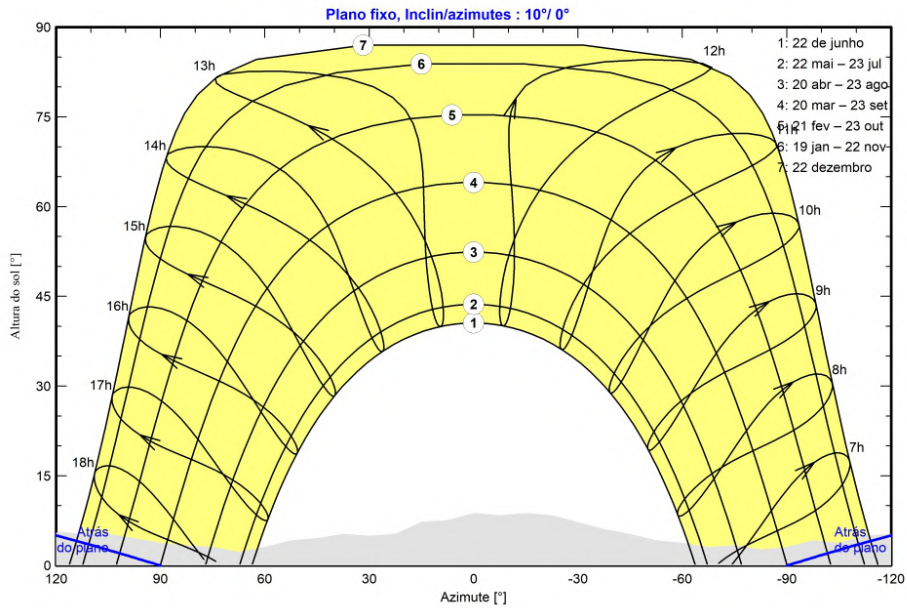
Horizon from PVGIS website API, Lat=-26°0'25", Long=-51°39'43", Alt=746m

Altura média	5.5 °	Fator albedo	0.67
Fator difuso	0.98	Fração albedo	100 %

Perfil do horizonte

Azimute [°]	-180	-173	-165	-158	-150	-143	-135	-128	-120	-113	-105	-98
Altura [°]	9.5	7.3	5.7	4.6	5.0	4.2	4.6	7.3	5.3	5.0	3.8	4.2
Azimute [°]	-90	-83	-75	-68	-60	-53	-45	-38	-23	-15	-8	0
Altura [°]	3.1	2.7	3.4	3.1	3.8	4.2	5.3	6.1	8.4	8.8	8.4	8.8
Azimute [°]	8	15	23	30	38	45	53	60	68	75	83	90
Altura [°]	7.6	7.3	5.3	5.0	5.3	4.6	4.2	3.1	2.3	3.1	3.4	3.8
Azimute [°]	98	105	113	120	128	135	143	165	173			
Altura [°]	4.6	5.3	5.3	5.7	6.1	6.1	7.6	7.6	9.2			

Trajétórias solares (diagrama Altura/Azimute)





Projeto: UFF - UHE
Variante: UFF Represa Foz de Areia

PVsyst V7.2.21

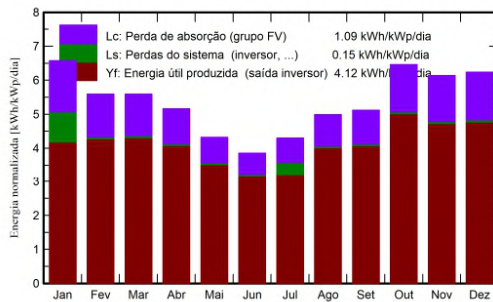
VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:39
com v7.2.21

Resultados principais

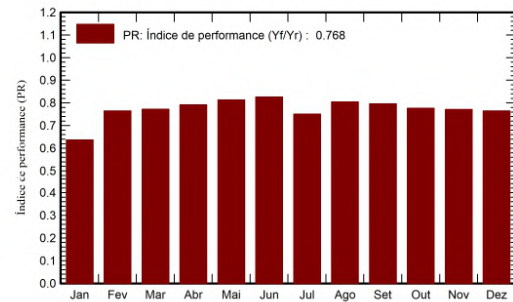
Produção do sistema

Energia produzida 3604 GWh/ano
Produção específica 1503 kWh/kWp/ano
Índice de performance (PR) 76.77 %

Produções normalizadas (por kWp instalado)



Índice de performance (PR)



Balancos e resultados principais

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	GWh	GWh	rácio
Janeiro	208.7	92.70	24.05	204.0	191.6	377.3	311.1	0.636
Fevereiro	155.6	70.90	23.87	156.6	147.6	291.1	287.2	0.765
Março	166.2	60.20	22.63	173.3	164.1	324.9	320.7	0.772
Abril	141.9	50.50	20.29	154.9	146.2	297.8	294.0	0.792
Mai	117.6	41.20	17.09	134.0	126.6	265.1	261.5	0.814
Junho	99.4	34.90	14.86	115.8	109.3	232.7	229.3	0.826
Julho	114.5	33.90	14.58	133.3	126.0	266.3	239.8	0.750
Agosto	138.7	47.40	17.14	154.6	146.1	302.2	298.4	0.805
Setembro	145.2	62.70	18.29	153.6	145.1	297.2	293.3	0.796
Outubro	196.5	68.20	20.38	200.3	189.6	377.5	372.8	0.777
Novembro	186.6	74.50	21.55	184.3	174.1	345.0	340.5	0.771
Dezembro	199.0	93.80	23.32	193.6	181.8	359.6	355.0	0.765
Ano	1869.9	730.90	19.82	1958.3	1847.9	3736.7	3603.5	0.768

Legendas

GlobHor	Irradiação horizontal total	EArray	Energia efetiva à saída do grupo
DiffHor	Irradiação difusa horizontal	E_Grid	Energia injetada na rede
T_Amb	Temperatura ambiente	PR	Índice de performance
GlobInc	Incidência global no plano dos sensores		
GlobEff	Global efetivo, corrigido para IAM e sombras		

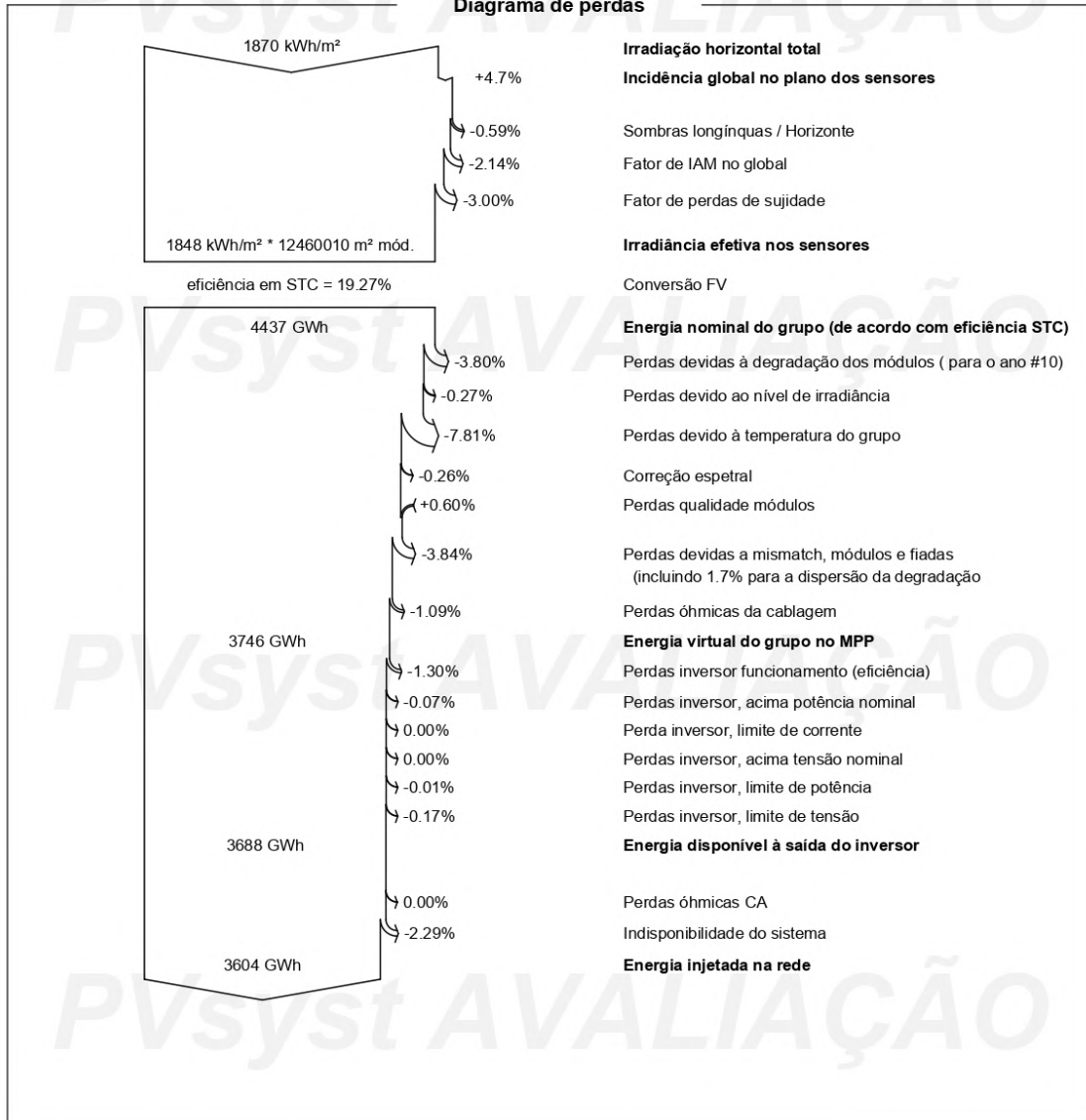


Projeto: UFF - UHE
 Variante: UFF Represa Foz de Areia

PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:39
 com v7.2.21

Diagrama de perdas



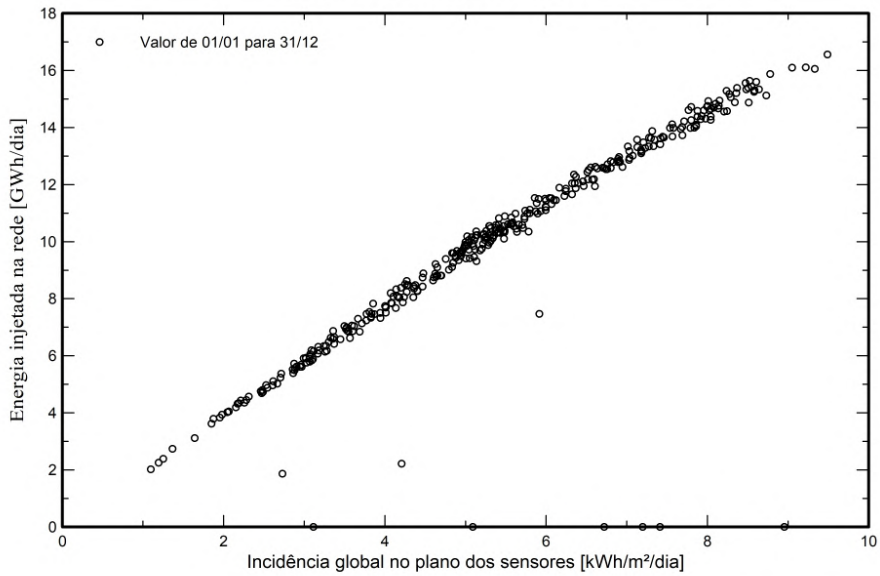


PVsyst V7.2.21

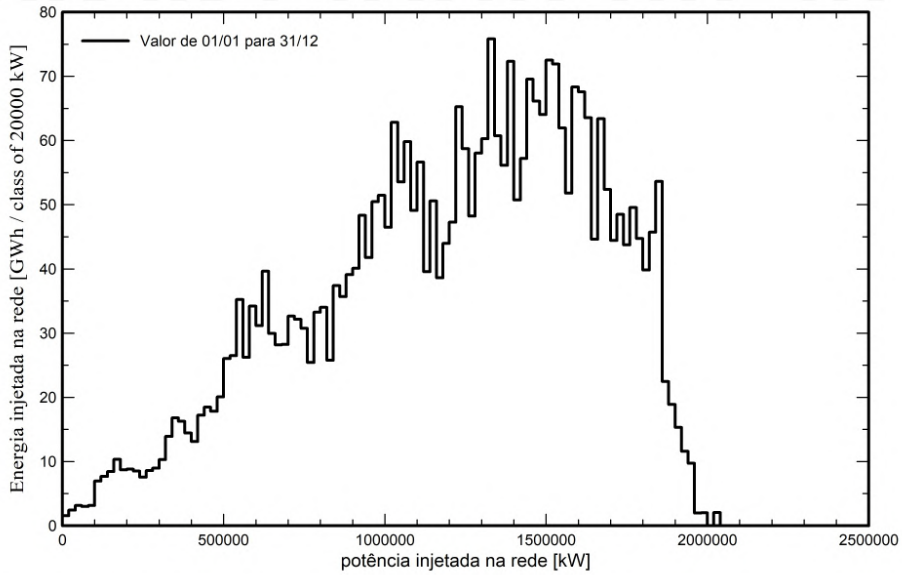
VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:39
com v7.2.21

Gráficos especiais

Diagrama de entrada / saída diário



Distribuição da potência à saída do sistema





PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:39
 com v7.2.21

Avaliação P50 – P90

Dados meteorológicos

Origem: Meteororm 8.0 (2006-2017), Sat=100%
 Tipo: Médias mensais
 Sintético - Média plurianual
 Variação de um ano para o outro (Variância): 4.5 %

Desvio especificado

Mudança climática: 0.0 %

Varição global (meteorologia e sistema)

Varição (Soma quadrática): 4.9 %

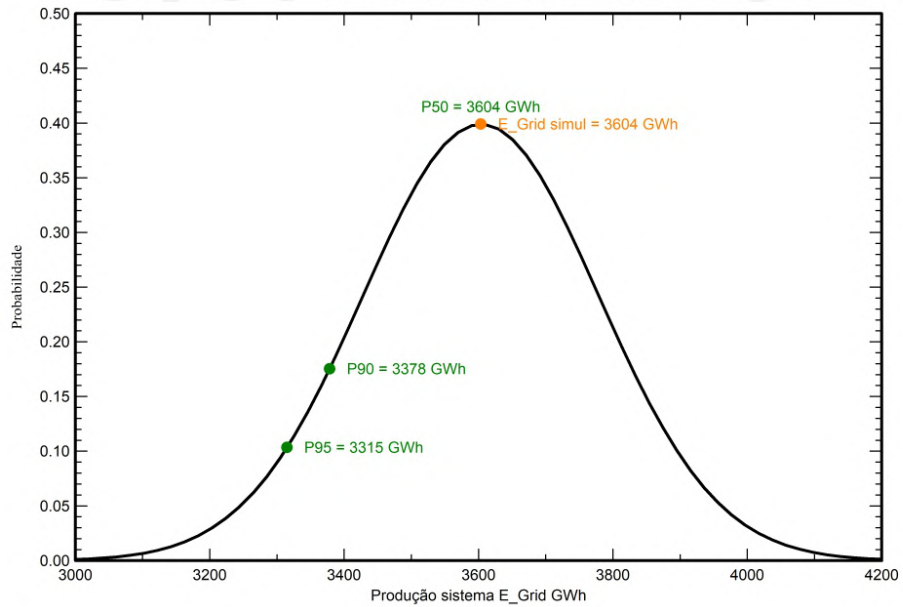
Incertezas sobre a simulação e os parâmetros

Parâm./modelo do módulo FV: 1.0 %
 Incerteza eficiência do inversor: 0.5 %
 Incertezas sujidade e mismatch: 1.0 %
 Incerteza acerca da degradação: 1.0 %

Probabilidade de produção anual

Varição: 176 GWh
 P50: 3604 GWh
 P90: 3378 GWh
 P95: 3315 GWh

Distribuição de probabilidade





PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:39
com v7.2.21

Projeto: UFF - UHE
Variante: UFF Represa Foz de Areia

Custo do sistema

Custos da instalação

Item	Quantidade unidades	Custo BRL	Total BRL
Total			0.00
Bem amortizável			0.00

Custos de operação

Item	Total BRL/ano
Total (OPEX)	0.00

Resumo do sistema

Custo total de instalação	0.00 BRL
Custos de operação	0.00 BRL/ano
Energia produzida	3603519 MWh/ano
Custo da energia produzida (LCOE)	0.000 BRL/kWh



Projeto: UFF - UHE
 Variante: UFF Represa Foz de Areia

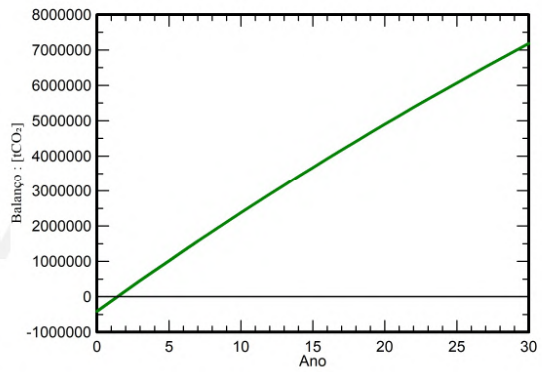
PVsyst V7.2.21

VC0, Data da simulação: 27/10/22 21:39
 com v7.2.21

Balanco de emissões CO₂

Total: 7184164.0 tCO₂
Emissões geradas
 Total: 413592.31 tCO₂
 Origem: Cálculo em detalhe na tabela abaixo:
Emissões evitadas
 Total: 8756550.8 tCO₂
 Produção do sistema: 3603518.85 MWh/ano
 LCE - Emissões da rede: 81 gCO₂/kWh
 Origem: Lista TEA
 País: Brazil
 Tempo de vida: 30 anos
 Deterioração anual: 1.0 %

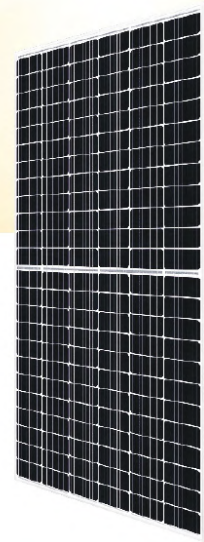
Economia de emissões de CO₂ em função do tempo



Pormenores das emissões durante o ciclo de vida do sistema

Item	LCE	Quantidade	Subtotal
			[kgCO ₂]
Módulos	1713 kgCO ₂ /kWp	239702 kWp	410541896
Suporta	0.54 kgCO ₂ /kg	5640040 kg	3047144
Inversores	53.5 kgCO ₂ /unidades	61.0 unidades	3265

ANEXO A – Manual do modulo.



HiKu

HIGH POWER MONO PERC MODULE

405 W ~ 430W

CS3W-405 | 410 | 415 | 420 | 425 | 430MS (IEC1000 V)

CS3W-405 | 410 | 415 | 420 | 425 | 430MS (IEC1500 V)

MORE POWER



26 % more power than conventional modules



Up to 4.5 % lower LCOE
Up to 2.7 % lower system cost



Low NMOT: 41 ± 3 °C
Low temperature coefficient (Pmax):
-0.34 % / °C



Better shading tolerance

MORE RELIABLE



Lower internal current,
lower hot spot temperature



Minimizes micro-crack impacts



Heavy snow load up to 5400 Pa,
wind load up to 3600 Pa*



Linear Power Performance Warranty*

12 Years Enhanced Product Warranty on Materials and Workmanship*

1st year power degradation no more than 2%
Subsequent annual power degradation no more than 0.55%

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
ISO 45001: 2018 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

Canadian Solar recycles panels at the end of life cycle

* The specific certificates applicable to different module types and markets will vary, and therefore not all of the certifications listed herein will simultaneously apply to the products you order or use. Please contact your local Canadian Solar sales representative to confirm the specific certificates available for your product and applicable in the regions in which the products will be used.

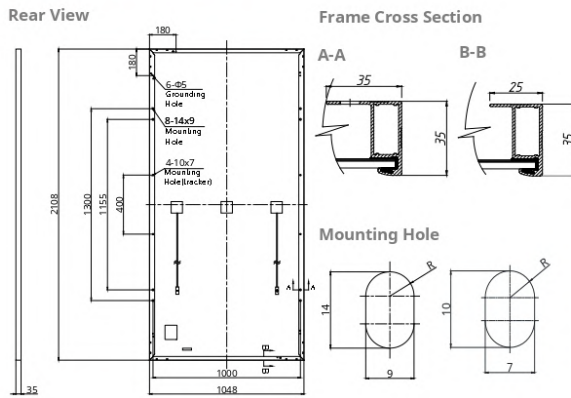
CSI Solar Co., Ltd. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. Canadian Solar was recognized as the No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in the IHS Module Customer Insight Survey, and is a leading PV project developer and manufacturer of solar modules, with over 55 GW deployed around the world since 2001.

* For detailed information, please refer to Installation Manual.

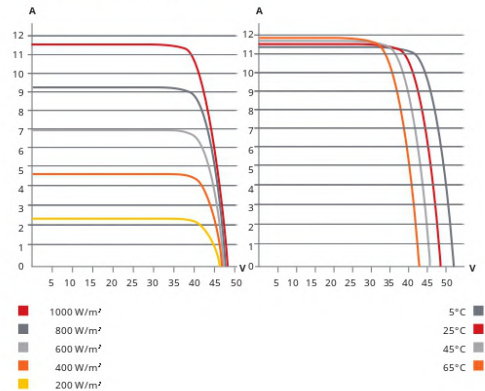
Canadian Solar MSS (Australia) Pty Ltd.

44 Stephenson St, Cremorne VIC 3121, Australia, sales.au@csisolar.com, www.csisolar.com/au

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS3W-430MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS3W	405MS	410MS	415MS	420MS	425MS	430MS
Nominal Max. Power (Pmax)	405 W	410 W	415 W	420 W	425 W	430 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	39.3 V	39.5 V	39.7 V	39.9 V	40.1 V	40.3 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.31 A	10.38 A	10.46 A	10.53 A	10.60 A	10.68 A
Open Circuit Voltage (Voc)	47.3 V	47.5 V	47.7 V	47.9 V	48.1 V	48.3 V
Short Circuit Current (Isc)	11.12 A	11.17 A	11.22 A	11.27 A	11.32 A	11.37 A
Module Efficiency	18.3%	18.6%	18.8%	19.0%	19.2%	19.5%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	20 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ + 5 W					

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C. Measurement uncertainty: ±3 % (Pmax).

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS3W	405MS	410MS	415MS	420MS	425MS	430MS
Nominal Max. Power (Pmax)	304 W	308 W	311 W	315 W	319 W	323 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	36.8 V	37.0 V	37.2 V	37.4 V	37.6 V	37.8 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.25 A	8.31 A	8.36 A	8.42 A	8.48 A	8.54 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.7 V	44.9 V	45.1 V	45.3 V	45.5 V	45.7 V
Short Circuit Current (Isc)	8.97 V	9.01 A	9.05 A	9.09 A	9.13 A	9.17 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2108 X 1048 X 35 mm (83.0 X 41.3 X 1.38 in)
Weight	24.3 kg (53.6 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	500 mm (19.7 in) (+) / 350 mm (13.8 in) (-) or customized length*
Connector	PV-KST4/xy-UR, PV-KBT4/xy-UR (IEC 1000 V) or T4-PC-1 (IEC 1500 V) or PV-KST4-EVO2/XY, PV-KBT4-EVO2/XY (IEC 1500 V)
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	660 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.26 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

Canadian Solar MSS (Australia) Pty Ltd.

44 Stephenson St, Cremorne VIC 3121, Australia, sales.au@csisolar.com, www.csisolar.com/au

Oct. 2021. All rights reserved, PV Module Product Datasheet V5.7C3_AU

* Manufactured and assembled in China, Thailand and Vietnam.

ANEXO B – Manual do inversor.



LV5⁺ Solar Power Station Data Sheet



The LV5⁺ Solar Power Station combines GE's LV5⁺ 1500V solar inverter, with medium voltage power transformer, optional MV switchgear, and various options for a reliable, plug & play, factory integrated power conversion solution for utility-scale solar installations.

The LV5⁺ Solar Inverter is one of the industry's leading 1500V developments and is GE's latest evolution in renewable power electronics. Building on expertise in the renewables industry, GE now offers its latest power conversion technology for efficient, cost effective and dispatchable solar power.

LV5⁺ Solar Power Station Features:

- UL or IEC compliant configurations
- 2.7 - 3.5 MW output power
- High efficiency
- Filter-less air-cooling system
- Plug & play
- Night time disconnect option
- Direct outdoor installation
- Standard 20ft ISO high cube container for optimized logistics and reduced on site installation and commissioning
- Fibre-optic SCADA interface
- Digital APM ready

1. LV5⁺ 1500V Solar Power Station Data

Specifications	Units	LV5 ⁺ 1560 Solar Power Station	LV5 ⁺ 1563 Solar Power Station	LV5 ⁺ 1566 Solar Power Station	LV5 ⁺ 1569 Solar Power Station
Input Data					
MPPT Range ¹	Vdc	853 - 1300	895 - 1300	938 - 1300	980 - 1300
Max Permissible DC Voltage	Vdc	1500			
Max Continuous DC Current (at 35°C / 50°C)	Adc	4000 / 3200			
Max DC Short Circuit Interrupt Rating	Adc	12000 ²			
Number of MPPT		1			
Number of DC Inputs		up to 24			
Output Data - Medium Voltage					
Transformer HV / LV Connection		Δ (Delta) / Y (Wye)			
Efficiency at 100% Load (Standard / High)	%	98.8 (Standard) / 99.1 (Option)			
Active AC Output Power (PF=1) ³ (at 35°C / 50°C)	MW	3.08 / 2.73	3.23 / 2.87	3.40 / 3.00	3.54 / 3.14
AC Output Voltage (+10% / -10%) ⁴	kVac	22 / 33 / 34.5			
Max AC Current (at 50°C)	Aac	72 / 48 / 46	76 / 51 / 48	80 / 53 / 51	83 / 56 / 53
Max AC Current (at 35°C)	Aac	82 / 55 / 52	86 / 57 / 55	90 / 60 / 57	94 / 63 / 60
Grid Frequency ±5%	Hz	50 / 60			
Power Factor (PF) Range		0-1 ⁴			
Current Harmonic Distortion (TDD)	%	<3			
Medium Voltage Cable		Designed for 630 mm ² / 1250 MCM max			
Efficiency & Auxiliary Power					
System Efficiency (Max / EU / CEC) ⁵	%	97.8 / 97.6 / 97.7			
Inverter Efficiency (Max / EU / CEC) ⁶	%	98.9 / 98.6 / 98.7			
System Nighttime Aux Power ⁷	W	≤700			
Interfaces					
Plant Control Interface / PLC		EtherNet IP / Modbus TCP, OPCUA, EGD			
Programming / Diagnostic Interface		EtherNet IP / Modbus TCP, OPCUA			
Extra Analog and Digital I/O		Option			
Features and Options					
Cooling		Air Cooled			
Emergency Shut Down		Included			
Mounting Options		Piers / Pad / Gravel			

Specifications	Units	LV5 ¹ 1560 Solar Power Station	LV5 ¹ 1563 Solar Power Station	LV5 ¹ 1566 Solar Power Station	LV5 ¹ 1569 Solar Power Station
Array Configurations Supported		Negative Pole Grounded or Floating			
Ground Fault Monitoring		Standard for Grounded Arrays, Option for Floating Arrays			
Nighttime Transformer Disconnect		Option			
Nighttime VAR Function		Option			
Insulation Monitoring		Option			
Power Disconnect AC Side		Motorized AC Circuit Breaker			
Switch-Disconnect DC Side		Motorized DC Switch			
Overvoltage Protection, DC and AC		Included - IEC 61643-1 Class II / UL 1449			
Main Power Transformer Oil Type		Mineral - ONAN (Standard) / Biodegradable - KNAN (Option)			
Oil Containment		Option			
Aux Power for Tracker / Customer Loads		Option (up to 100 kVA)			
Door Interlocking System		Option			
Weather Station		Option			
Noise (at 1m / 10m) ⁸	dB(A)	≤85 / ≤75			
Weight	kg / lbs	approx. 17000 / 37480			
Dimensions (L x W x H)	m / ft	6.1 x 2.4 x 2.9 / 20.0 x 8.0 x 8.5			
Protection Rating and Ambient Conditions					
Operating Temperature Range	°C	-25 to +50			
Storage Temperature Range	°C	-40 to +65			
Cold Weather Option ⁹	°C	-35 to +50			
Humidity	%	5-100 (rated for outdoor installation)			
Maximum Altitude without Derating ¹⁰	m / ft	2000 / 6562			
Seismic		Zone 2B ASCE 7 / IBC			
Maximum Wind Speed ¹¹	kph / mph	250 / 155			
Snow Load		ASCE 7			
NEMA Rating / IP Class		NEMA3 / IP54 (Inverter & RMU) NEMA3R / IP23 (Transformer)			
Standards					
Electromagnetic Compatibility (EMC)		EN 61000-6-2, 62920 / CISPR 11			
Certifications		IEC, CE, UL 1741 SA			

¹ At nominal voltage, ideal grid conditions, and PF=1 (at 50°C)

² Up to 5 times per lifetime

³ Implies active power reduction, Altitude ≤ 2000m, grid voltage ≥ nominal voltage

⁴ Derating will apply according to PQ curves

⁵ Preliminary, includes auxiliary power losses

⁶ Preliminary, excludes auxiliary power losses

⁷ No heating, no cooling, without environmental controls enabled, DC link de-energized and without main transformer no load losses, no customer loads, for inverter only auxiliary needs

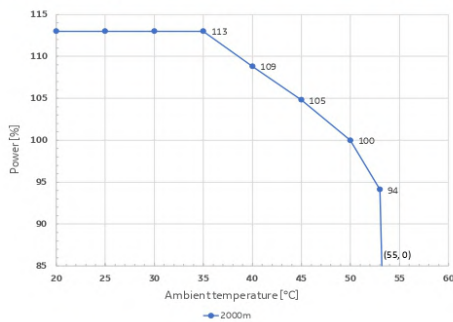
⁸ At 1m / 10m in front of enclosure and 1m up from the ground

⁹ Cold weather option on request

¹⁰ Higher altitudes (with derating) on request

¹¹ Maximum wind speed without derating 81 kph / 50 mph

2. Derating Curve (Altitude and Temperature)¹²



¹² Applicable for grid voltage ≥ nominal voltage, altitudes >2000m on request

www.ge.com/renewableenergy/hybrid

©2019 General Electric. All rights reserved. *Trademark of General Electric. All other brands or names are property of their respective holders. GE reserves the right to make technical changes or modify the contents of this document without prior notice. Agreed particulars within purchase order will prevail.

GEA33501.09/19 - LV5¹ Solar Power Station Data Sheet