

Energia Heliotérmica: Viabilidade Socioambiental e perspectivas no Brasil

Felipe Humberto de Lima; Gustavo do Val Morato; Matheus Magalhães Nifocci; Vinicius Felipe Alves Cirino Leite;

Orientador: Professor Dr. Sandro Martini

Resumo: A geração de energia desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de uma sociedade e de sua economia ao ponto de não conseguirmos sobreviver sem energia elétrica. No Brasil, onde mais da metade da geração do setor energético é proveniente de usinas hidrelétricas, um cenário de constantes crises hídricas e mudanças climáticas, aliado a uma necessidade cada vez maior de se reduzir a utilização de combustíveis fósseis e o impacto ambiental gerado pelo homem, diversificar e manter a geração de energia atual tem sido um desafio para especialistas do setor. Neste contexto, o presente artigo tem como objetivo apresentar as vantagens da tecnologia *Concentrated Solar Power* (CSP), visando a redução do impacto ambiental, alternativa para diversificação da geração de energia e reaproveitamento de áreas no território nacional que possuem grande potencial energético e ainda não foram exploradas. Como forma de validar estes argumentos apresentados, será realizada a simulação da construção de uma usina termossolar através do *software System Advisor Model* (SAM), expondo possíveis locais para sua instalação e qual seria seu potencial energético. Através dos resultados obtidos a partir da simulação, foram criados gráficos e tabelas da capacidade de geração mensal, capacidade de geração anual e fator de capacidade, demonstrando a viabilidade de fomentar este tipo de tecnologia no Brasil.

Palavras-chave: Heliotérmica, termossolar, CSP, energia solar concentrada.

Heliothermal Energy: Socio-environmental Viability and Perspectives in Brazil

Abstract: Power generation plays a fundamental role in the development of a society and its economy to the point that we can no longer survive without electricity. In Brazil, where more than half of the energy sector generation comes from hydroelectric plants, a scenario of constant water crisis and climate change, coupled with an increasing need to reduce the use of fossil fuels and the environmental impact generated by man, diversifying and maintaining current energy generation has been a challenge for experts in the sector. In this context, the present article aims to present the advantages of the *Concentrated Solar Power* (CSP) technology, aiming at the reduction of environmental impact, an alternative for the diversification of energy generation and the reuse of areas in the national territory that have great energy potential and have not been explored yet. As a way to validate these arguments presented, the simulation of the construction of a thermosolar plant will be performed using the *System Advisor Model* (SAM) software, showing possible locations for its installation and what would be its energy potential. Through the results obtained from the simulation, graphs and tables of the monthly generation capacity, annual generation capacity, and capacity factor were created, demonstrating the viability of promoting this type of technology in Brazil.

Keywords: Heliothermal, thermosolar, CSP, concentrated solar power.

1. Introdução

Cada vez mais a energia tem se tornado um recurso indispensável para o desenvolvimento social e econômico, não só no Brasil, mas no mundo. Além deste cenário, a necessidade de se reduzir a utilização de combustíveis fósseis, frear as mudanças climáticas e o impacto ambiental para geração de energia elétrica são pautas recorrentes em reuniões governamentais e projetos do setor energético. (ROBERT; EDWARD, 2012)

Assim, a pesquisa e o incentivo para o desenvolvimento de fontes de energia renováveis, também chamadas de fontes de energia limpa, têm sido intensificadas ao redor do mundo.

Como um forte exemplo, temos a energia solar, capaz de produzir energia elétrica, como também calor para aquecimento de processos industriais. Um meio de conversão de energia solar em energia elétrica que vem ganhando cada vez mais destaque nos últimos anos é a geração solar concentrada (*Concentrated Solar Power – CSP*), que consiste em um ciclo termodinâmico, onde o calor é gerado a partir da concentração da irradiação solar. No processo, a irradiação solar é convertida em energia térmica e posteriormente, convertida em energia elétrica (LOVEGROVE; STEIN, 2012).

No final de 2020, a capacidade total instalada de usinas termossolares em operação no mundo era de 6.800 MegaWatts. A Espanha representa quase um terço da capacidade total mundial, gerando 2.304 MegaWatts, seguido pelos Estados Unidos com uma geração de 1.758 MegaWatts (ZHIFENG, 2021).

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 56,8% da oferta interna (Brasil) de energia elétrica foi proveniente de usinas hidrelétricas. Dessa forma, as fontes de energia eólica e solar fotovoltaica têm ganhado cada vez mais espaço, mostrando-se duas excelentes alternativas em períodos de estiagem e crise (EPE, 2022).

No entanto, essas fontes renováveis quando não estão associadas a um sistema de armazenamento de energia, apresentam características intermitentes, pois sua operação e capacidade de geração dependem de condições meteorológicas. Existe uma quantidade significativa de radiação solar direta em diversas regiões do Brasil, principalmente aquelas que apresentam baixa umidade e disponibilidade de terras, viabilizando a construção de usinas de CSP, que podem ser fontes de geração de energia ou calor (BITENCOURT, 2019).

Outro ponto importante a se destacar que reforça a necessidade do desenvolvimento de usinas CSP são as crises hídricas cada vez mais frequentes no país, sendo cada vez mais necessário a diversificação das fontes geradoras de energia, evitando a dependência de usinas hidroelétricas e a necessidade de queimar combustíveis fósseis para abastecer o sistema energético (NATURE, 2021).

Neste contexto, em março de 2022 foi criada a primeira usina termossolar do Brasil, na cidade de Rosana, no oeste do estado de São Paulo. Apesar de também depender de condições climáticas, a energia termossolar apresenta a capacidade de armazenar energia elétrica em forma de calor, quando a instalação da usina é associada a um sistema de armazenamento térmico. A usina instalada em Rosana utiliza a arquitetura cilindro parabólico, caracterizada pela estrutura de montagem dos painéis refletores da usina. Os raios solares captados pelos refletores geram calor, aquece um fluido térmico que circula os tubos posicionados no centro dos cilindros, produzindo vapor que movimenta turbinas e por enfim, gerar eletricidade. Uma questão diferencial desta instalação é a existência de tanques de armazenamento para o óleo térmico e para mantê-lo na temperatura adequada, possibilitando que a usina continue operando mesmo em períodos que os raios solares não são tão intensos.

O investimento para a construção da planta foi de R\$57 milhões, regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) desde 2017 para a construção anexa ao complexo da hidrelétrica de Porto Primavera. A usina tem capacidade para gerar 0,5 MWatts, suficiente para abastecer 360 residências com consumo médio de 180 kWh/mês (Canal Energia, 2022).

Apesar de se tratar de uma tecnologia inovadora, a CSP apresenta algumas desvantagens. Como a geração de energia depende da radiação concentrada diretamente sobre a superfície dos concentradores, coordenadas geográficas, condições atmosféricas e sazonalidade interferem diretamente na escolha do ponto de instalação para aproveitamento total da incidência de radiação. Por esse motivo, se faz necessário uma análise prévia das condições climáticas da região escolhida para a instalação, a fim de se obter total produtividade da planta.

1.1. Justificativa

Em 2015 a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) realizou a Chamada Estratégica de P&D Aneel N°19, para projetos de Pesquisa e Desenvolvimento que apresentassem embasamento para a incorporação de fontes termossolares na matriz do sistema energético brasileiro, tendo como principal aspecto positivo a capacidade de armazenamento de calor, sendo possível gerar eletricidade mesmo com a ausência de radiação solar direta (ANEEL, 2015).

Vale lembrar também que o Brasil está entre os países que fazem parte do acordo de Paris e segundo documento assinado em 2022, o país se compromete a reduzir a emissão de gases do efeito estufa em 37% em 2025, comparado a 2005 (FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL, 2022).

Dito isso, é imprescindível que o Brasil invista e desenvolva novas tecnologias como o exemplo a CSP para diversificar sua matriz energética, evitando dependência de uma única fonte de energia e diminuindo o impacto ambiental, visto que o país apresenta diversas localidades apropriadas para a utilização desta tecnologia, como será abordado ao longo deste artigo (CARVALHO, 2016).

1.2. Objetivos

Este artigo tem como objetivo principal realizar uma análise climática do território brasileiro, evidenciando possíveis pontos de instalação de uma usina termossolar, para tanto, foram estabelecidos os seguintes objetivos:

- Avaliar a viabilidade da construção de usinas heliotérmicas em regiões do país com maior índice de radiação solar para um melhor aproveitamento da tecnologia;
- Apresentar vantagens ambientais da construção de usinas termossolares em regiões menos desenvolvidas do Brasil;
- Evidenciar a exploração deste modelo de usina como alternativa para crises hídricas e mudanças climáticas dos últimos anos;
- Demonstrar os benefícios ao meio ambiente da produção de energia por este modelo menos agressivo e mais sustentável.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Geração Heliotérmica

O sistema de geração heliotérmico pode ser comparado com o de uma termelétrica convencional, porém ao invés de utilizar o processo de combustão, é utilizado a radiação solar direta. Estes sistemas consistem em quatro componentes principais, os coletores, formados por um conjunto de espelhos, que refletem e direcionam a radiação solar direta até os receptores, estes por sua vez absorvem a radiação solar direta e a convertem em calor. O aquecimento deste fluido permite esquentar a água e a transformar em vapor

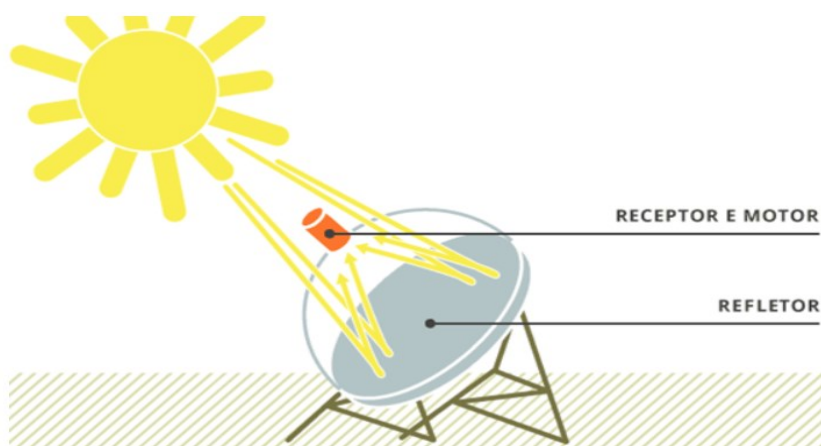
transportando-a através de um trocador de calor. O vapor por sua vez será conduzido até uma turbina, gerando a energia elétrica através da rotação das turbinas. Antes de finalizar o ciclo, a água passa por um condensador, resfriando-a, para que o ciclo possa ser realizado novamente. Além disso, o fluido é reutilizado e retorna para o sistema, desta forma percebemos que o sistema apresenta um ciclo fechado, quase sem desperdício de insumos para a geração da energia.

O sistema de geração heliotérmico apresenta mais de uma disposição de seus coletores, sendo assim, a arquitetura do sistema pode ser dividida em quatro tipos: sistemas de torres solares, discos parabólicos, concentradores Fresnel e cilindro-parabólico. Ao longo do presente artigo, será exposto brevemente como é funcionamento de cada uma das arquiteturas acima citadas, sendo a arquitetura cilindro-parabólico abordada com maior, por se tratar da arquitetura mais difundida e empregada no mundo para geração de energia elétrica, devido ao seu custo comparado às outras para esse tipo de utilização (BITENCOURT, 2019).

2.2. Disco parabólico

O disco parabólico possui um disco no formato parabólico, esse disco é equipado com um material refletor e um ponto que recebe a luz refletida, conforme mostrado na figura 1. Dentre todos os concentradores solares, o disco parabólico se difere dos outros por ser modular, podendo ser construídos de diversos tamanhos para diversas aplicações. O disco parabólico funciona basicamente concentrando toda a luz captada em um único ponto, denominado ponto focal.

Figura 1 - Sistema de Geração CSP – Disco parabólico



Fonte: Portal Solar, 2022

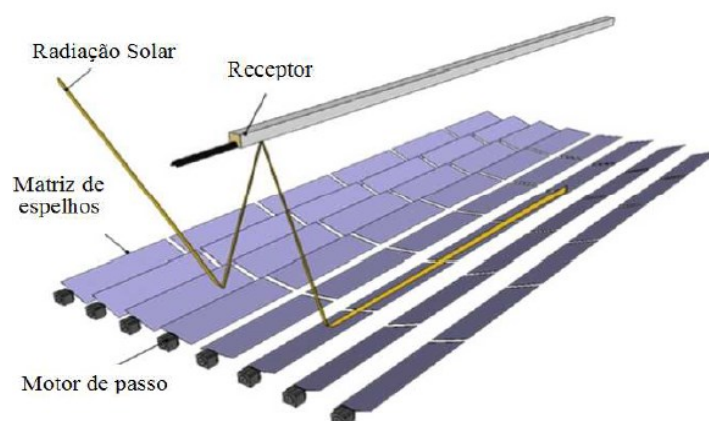
O ponto focal se localiza na unidade de conversão de energia do concentrador, essa unidade consiste em um receptor térmico e um motor Stirling. O receptor térmico contém tubos com um fluido térmico especial, esse fluido transfere o calor recebido para o motor. Já o motor Stirling é um motor de combustão interna, esse motor consegue aproveitar o calor externo para funcionar. Ele utiliza esse calor para movimentar pistões conectados a um gerador, gerando assim energia mecanicamente.

Os concentradores parabólicos podem ser utilizados para as mais diversas aplicações, a depender de seu tamanho e de seu gerador, pode fornecer potências muito variáveis, sua grande vantagem reside em ser modular, ou seja, somente o sistema do concentrador é suficiente para gerar energia, visto que já possui embutido seu gerador (Portal Solar, 2022).

2.3. Refletor Fresnel linear

O sistema linear Fresnel é composto por diversos espelhos planos que juntos podem formar quase uma parábola ou então estão espalhados no mesmo plano, mas com inclinações diferentes. Um tubo absorvedor é montado sobre uma estrutura fixa e somente os espelhos que se movem para a posição mais eficiente para o aproveitamento da radiação solar. Isso é feito através de motores de passo e um sistema de rastreamento do sol, exemplificado na figura 2.

Figura 2 - Sistema de Geração CSP - Refletor Fresnel



Fonte: Scalco, 2016

Nos últimos anos, a tecnologia Fresnel tem se mostrado bastante promissora devido à uma série de vantagens técnico-econômicas. Essas vantagens se devem principalmente ao menor custo associado aos espelhos planos, a simplicidade mecânica do sistema (a geometria linear proporciona menor resistência aerodinâmica ao vento, assim a construção desses concentradores é mais simples) e ao fato de que nesta tecnologia o tubo absorvedor é fixo, tornando mais simples o uso de um fluido de trabalho sob elevadas pressões, uma vez que as conexões não necessitam ser flexíveis. Esta última vantagem também explica a razão da tecnologia Fresnel se adequar melhor a sistemas DSG (*Direct Steam Generation*), onde o vapor é gerado diretamente nos coletores do campo solar sob elevados níveis de temperatura e pressão, eliminando a necessidade de um fluido de transferência de calor e também a necessidade de trocadores de calor, o que barateia o sistema.

As principais desvantagens da tecnologia Fresnel são suas altas perdas devido ao efeito cosseno por conta do bloqueio e sombra de espelhos adjacentes, principalmente no início e no final do dia, seus espelhos planos não conseguem atingir a formação de parábola perfeita e a sombra do tubo absorvedor (receptor do sistema) (ANEEL, 2015).

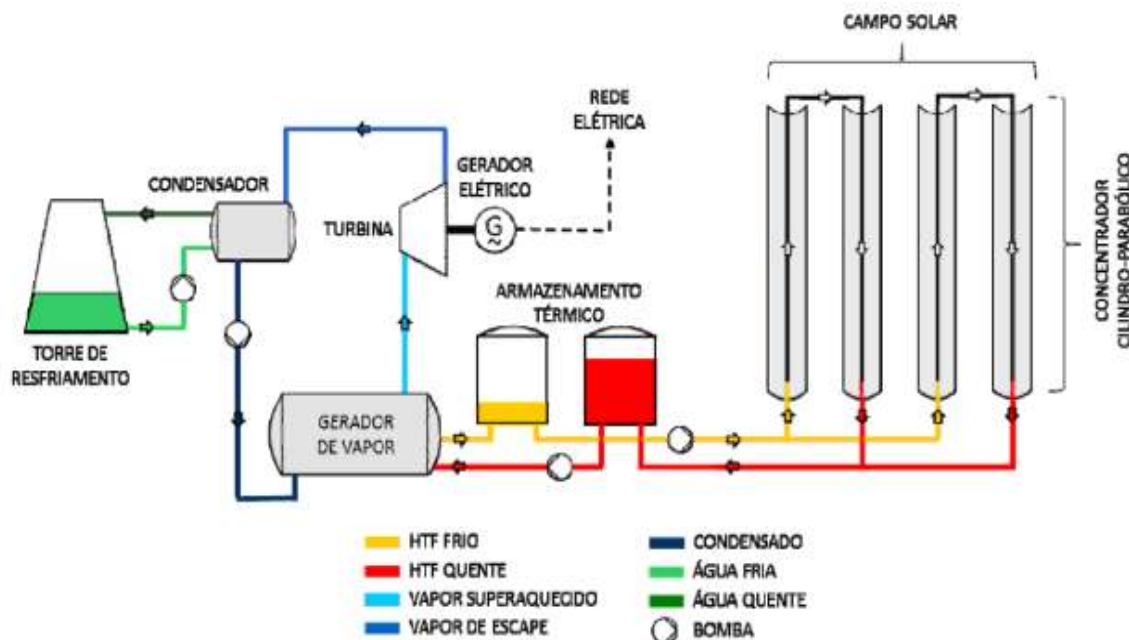
2.4. Cilindro parabólica

Para captar esta energia são utilizados espelhos côncavos, os quais irão concentrar e direcionar a energia térmica para um mesmo ponto. Neste ponto deve estar posicionado um tubo, este que será o absorvedor de energia, geralmente composto por vidro com revestimento escuro, por possuir um alto grau de absorção de radiação e baixa reflexão.

No interior destes tubos é conduzido um fluido que depois de aquecido passa por um trocador de calor, onde irá transferir o calor do fluido para a água que através de um sistema de bombas, sob alta pressão será transformado em vapor. O fluido que transita internamente nestes tubos possui alta capacidade térmica, propriedade a qual permite

atingir altas temperaturas sem comprometer as características desse material. O vapor gerado irá acionar as turbinas para que seja gerado a energia elétrica, e retornará para o sistema, passando por um processo de condensação e retornando ao ciclo. A seguir, a figura 3 demonstra como se dá o processo de geração na arquitetura cilindro parabólico (Gazoli, 2018; ANEEL, 2015).

Figura 3 - Sistema de Geração CSP - Cilindro Parabólico



Fonte: Gazoli et al., 2018

O sistema de refletores cilíndrico parabólico é disposto de forma modular, constituído de diversas linhas alinhadas horizontalmente por um eixo Norte-Sul. Desta forma permite captar mais radiação, uma vez que ele poderá modular de acordo com o movimento do sol de leste para oeste.

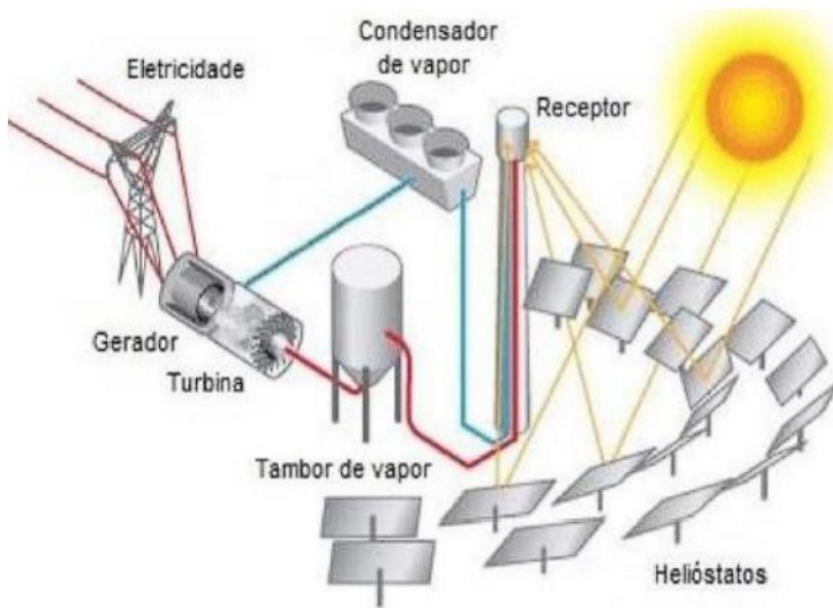
Estes refletores são constituídos de espelhos côncavos com alta taxa de reflexibilidade, evitando a perda de energia, e que tem como função refletir e concentrar a radiação solar direta em um único ponto. Além disso, estes espelhos devem apresentar um alto grau de resistência, devido às condições climáticas adversas das regiões onde são instaladas estas usinas.

A radiação solar que é refletida pelos coletores é direcionada para os receptores, que são construídos em aço inoxidável e envoltos por um tubo de vidro com revestimento antireflexivo, impedindo a reflexão da radiação absorvida. Além deste vidro, o sistema absorvedor possui isolamento a vácuo entre o tubo e o vidro, desta forma a isolamento em conjunto com o vidro antireflexivo diminuem as perdas do sistema.

2.5. Torre solar central

O meio de geração ocorre através de torre central, operando através de um receptor instalado na parte superior da torre. Em volta da estrutura são instalados espelhos móveis, chamados de heliostatos, que se ajustam individualmente para que a concentração de radiação solar seja transmitida integralmente para o receptor. Na figura 4, temos um exemplo da arquitetura de geração por torre solar.

Figura 4 - Sistema de Geração CSP - Torre Solar



Fonte: ANEEL, 2015

Um exemplo de usina que utiliza esta arquitetura é Cerro Dominador, localizado no deserto do Atacama, no Chile, exemplificada na figura 5. Ela foi inaugurada em 2021 e conta com 10.600 heliostatos com 140m² cada um. A área total instalada da usina é de 750 hectares. Esta infraestrutura é combinada com uma planta fotovoltaica adjacente e ambas somam um total de 210 MWatts de energia gerada (BITENCOURT, 2019; Folha de São Paulo, 2021).

Figura 5 - Usina Cerro Dominador, Chile



Fonte: Folha, 2022

2.6. Estudo de DNI

A diversidade de biomas espalhados pelo território nacional, aliado às suas condições climáticas, fazem com que o Brasil tenha vantagens para o bom aproveitamento da energia heliotérmica, visto que a quantidade de radiação direta é alta, principalmente em locais com baixa umidade e que possuem terrenos semiáridos. Outra vantagem de utilização da energia heliotérmica no Brasil é o reaproveitamento de territórios inférteis ou que não exercem função econômico-social, onde as usinas podem ser instaladas gerando desenvolvimento da região e empregos, além de diversificar as formas de geração do setor energético.

Neste contexto, realizou-se um estudo prévio dos dados disponibilizados pelo mapa de *Direct Normal Irradiation* (DNI) do Brasil onde é possível visualizar as regiões do país com maior índice de radiação solar e com maior geração de energia em kWh/m², conforme a figura 6 (BITENCOURT, 2019).

Figura 6 - Mapa de DNI no Brasil



Fonte: SOLARGIS, 2018

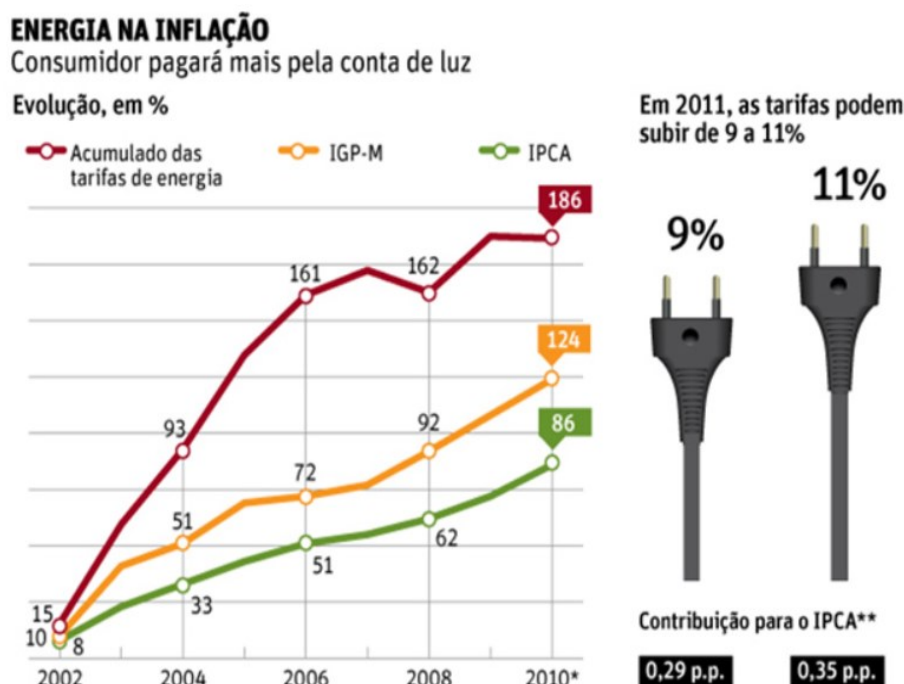
Analisando o mapa, as regiões em vermelho e em laranja, principalmente a parte central do país, são as que se apresentam como mais promissoras para a instalação de usinas heliotérmicas. Para o desenvolvimento da simulação da construção da usina, serão selecionadas duas localidades compreendidas dentro destas regiões, levando em consideração também proximidade de linhas de transmissão de energia para que a usina seja integrada à rede e facilidade de acesso a regiões urbanas.

2.7. Mudanças Climáticas e Impactos no Setor Energético

Apesar da diversidade do parque gerador de energia brasileiro e dos desenvolvimentos recentes em novas fontes de energia, nos últimos 20 anos o país passou por 3 crises energéticas, em 2001, 2014 e 2021.

Em 2001 o Brasil enfrentou uma enorme crise energética, causada entre outros motivos pela baixa quantidade de chuvas e pela grande dependência das hidrelétricas. Na época a matriz energética brasileira dependia quase que exclusivamente das hidrelétricas, totalizando 89% de toda a matriz energética. A falta de chuvas em determinadas regiões do país, aliado a um acréscimo na demanda energética fez com que ao final do período de chuvas do ano de 2001, os reservatórios das regiões sudeste e nordeste ficassem com apenas 33 e 34% respectivamente de sua capacidade total, isso representa cerca de 17% a menos do limite do considerado ideal. Após a crise de 2001 um aumento exponencial foi visto nas contas de energia a longo prazo, como mostrado na figura 7 (Portal Solar, 2022).

Figura 7 - Energia na Inflação



Fonte: Portal Solar, 2022

Em 2014 ocorreu também um período em que foi necessário o racionamento de água e de energia, devido a probabilidade de apagões pelo país, causado por mais um período de seca atípica. Após o ocorrido em 2001 foram iniciados projetos para diversificação da matriz

energética brasileira, contudo, segundo a Associação Brasileira dos Investidores em Autoprodução de Energia (ABIAPE), em 2013 cerca de 40% do volume de energia planejado para aquele ano não entrou em circulação devido a atrasos em projetos e licitações, em contrapartida a demanda cresceu aproximadamente 11%.

Por último, segundo dados obtidos do ministério de Minas e Energia, o Brasil em 2021, que possui a maior reserva de água doce do mundo, enfrentou a maior crise hídrica dos últimos 91 anos, provocada por diversas estações chuvosas abaixo da média. Como maior parte da energia gerada no país é proveniente de hidrelétricas, esta crise hídrica provocou também uma crise energética. As usinas começaram a operar em capacidade reduzida devido ao baixo volume de água nos reservatórios, especialmente nas regiões sudeste e centro oeste, que representam 70% da capacidade de armazenamento hidrelétrico do país. Entre setembro de 2020 e abril de 2021 os reservatórios da região Norte, Nordeste e Sul também operam com capacidade reduzida. Graças a diversificação do parque gerador do Brasil, que cresceu 43% entre 2011 e 2022, o país não passou por um apagão ou por um racionamento de energia (Engie – Além da Energia, 2022; Soma Energia, 2022).

Devido à crise hídrica, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) em 2021 reajustou o valor da tarifa de energia utilizando a bandeira de escassez hídrica, cobrando o valor de R\$14,2 a cada 100 kWh utilizado. Isso representa um acréscimo de 49,7% em relação ao valor anterior, que era de R\$9,49 na bandeira vermelha. O aumento tem como justificativas o custo adicional da geração de energia, como o uso de usinas termelétricas.

A fim de demonstrar como os períodos de estiagem cada vez mais frequentes têm impactado no abastecimento dos reservatórios das hidrelétricas, foram consultados dados da vazão vertida (ou seja, a vazão expelida pelos vertedouros das usinas) e turbinada (a vazão que passa pelas turbinas da hidrelétrica) de três das principais usinas do Brasil: Itaipu (Foz do Iguaçu), Santo Antônio (Porto Velho), Tucuruí (Tucuruí). Os dados obtidos serão demonstrados e nas tabelas 1 e 2 e nas figuras 8 e 9.

TABELA 1 - Comparativo Vazão vertida

Vazão vertida (m³/s)			
Reservatório	ITAIPU	SANTO ANTONIO	TUCURUI
Período de exibição	Anual	Anual	Anual
jan de 10	13.771	0	240
jan de 11	1.630	0	0
jan de 12	1.205	19.094	1.042
jan de 13	0	21.716	0
jan de 14	0	26.083	0
jan de 15	0	16.669	0
jan de 16	8.102	6.990	0
jan de 17	0	2.464	0
jan de 18	3.358	7.115	0
jan de 19	0	9.554	0
jan de 20	0	1.764	0
jan de 21	0	2.535	0

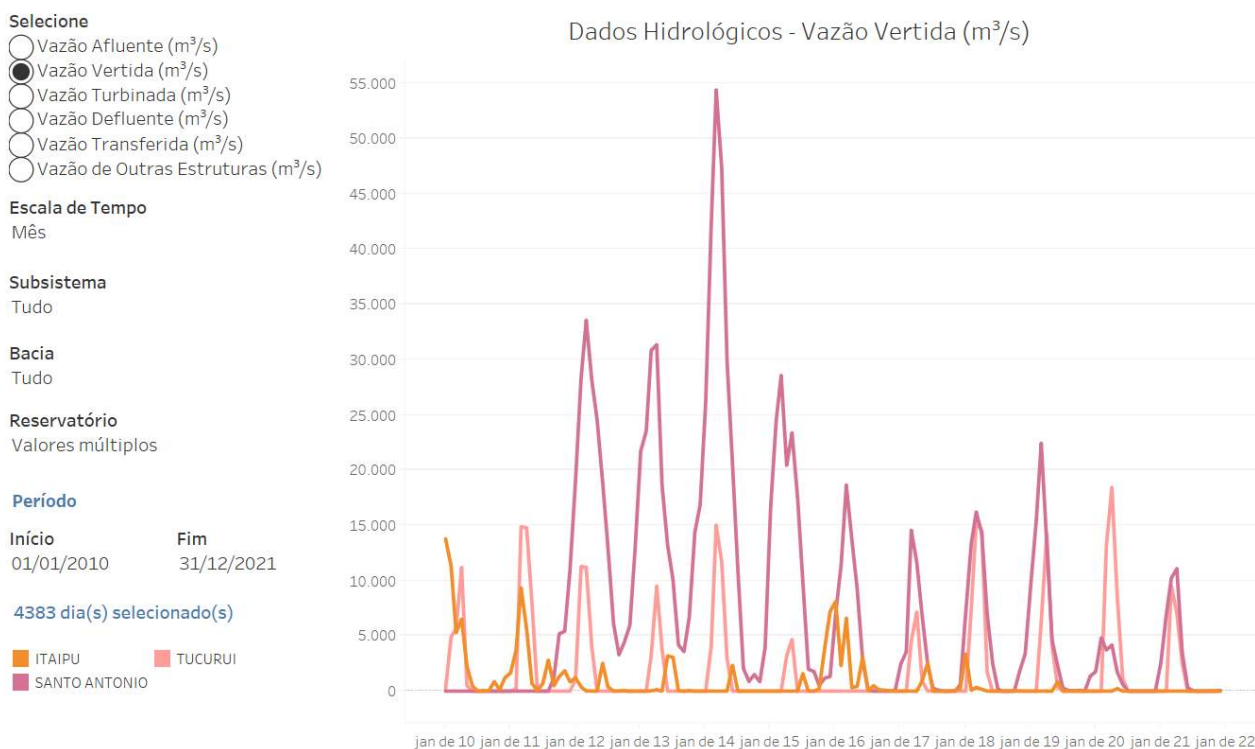
FONTE: ONS, 2022

TABELA 2 - Comparativo Vazão turbinada

Vazão Turbinada (m³/s)			
Reservatório	ITAIPU	SANTO ANTONIO	TUCURUI
Período de exibição	Anual	Anual	Anual
jan de 10	9.299	0	9.712
jan de 11	11.090	0	10.179
jan de 12	0	0	11.051
jan de 13	10.691	2.263	8.546
jan de 14	12.450	5.245	11.728
jan de 15	10.526	13.163	8.854
jan de 16	12.195	10.816	4.071
jan de 17	11.472	16.700	4.680
jan de 18	13.312	23.195	6.678
jan de 19	10.417	20.791	7.989
jan de 20	10.353	28.262	5.644
jan de 21	8.293	20.879	6.105

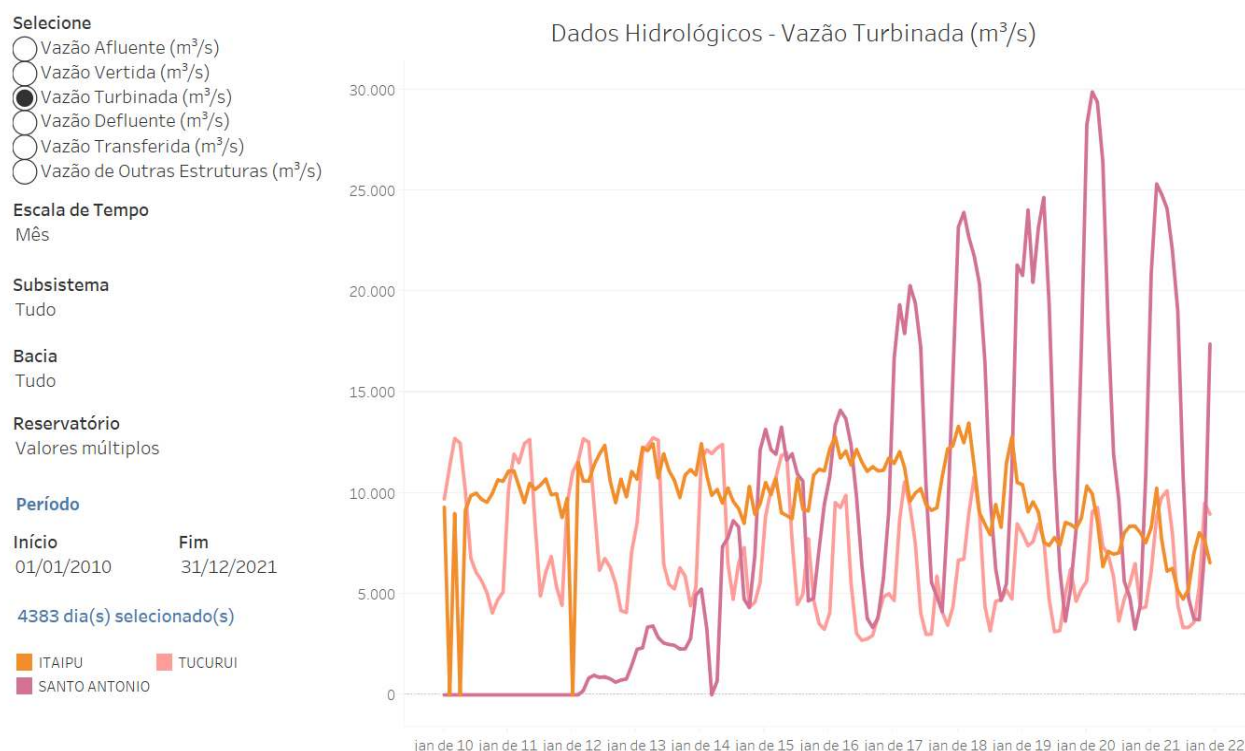
FONTE: ONS, 2022

Figura 8 - Comparativo Vazão Vertida – 01/01/2010 – 31/12/2021



Fonte: ONS, 2022

Figura 9 - Comparativo Vazão Turbinada – 01/01/2010 a 31/12/2021



Fonte: ONS, 2022

Após a análise deste gráfico e observando principalmente a queda da vazão vertida e o aumento da turbinada é evidente que o abastecimento das usinas hidrelétricas tem sido cada vez mais prejudicado por estes longos períodos de estiagem. A principal causadora dessas secas cada vez mais frequentes são as mudanças climáticas que se tem observado não só no Brasil, mas no mundo. O consumo de combustíveis fósseis, aliado ao desmatamento, já causam impactos irreversíveis ao ecossistema do planeta, como por exemplo o degelo do Ártico e aumento do nível dos oceanos. Segundo dados do IPCC (*The Intergovernmental Panel on Climate Change*), estas secas serão cada vez mais frequentes na América do Sul e a floresta amazônica pode se tornar uma savana se as autoridades não começarem a agir incisivamente para interromper este processo (NIRANJAN AJIT, DW-2021).

Em 2015, governos de diversos países aderiram ao Acordo de Paris, que possui o objetivo de limitar o aquecimento global em 2°C até o final deste século, através de diversos fatores como redução de emissão de monóxido de carbono, redução de consumo de combustíveis fósseis, diminuir drasticamente a poluição de rios e mares, bem como o desmatamento. O Brasil, sendo um dos países membros do acordo, atualizou seu compromisso em 2022 de reduzir a emissão de gases do efeito estufa em 37% em 2025, comparado a 2005. (DW, 2021).

Na região Amazônica, a construção da usina de Belo Monte, inaugurada em 2016, marcou o fim de uma era de construção de usinas hidrelétricas na Amazônia. A construção de Belo Monte, exemplificada na figura 10, foi acompanhada por diversos impactos socioambientais, desapropriando povos indígenas e ribeirinhos que moravam próximo ao rio Xingu e criando áreas inundadas próximas à região da barragem.

Figura 10 - Construção da usina de Belo Monte



Fonte: Exame, 2021

Em pouco mais de cinco anos, Belo Monte se tornou um equívoco de planejamento, operando com apenas 24% da capacidade, um problema enfrentado também por outras usinas hidrelétricas no país. No ano de 2015, o estudo Brasil 2040 já havia alertado sobre a queda nos índices de vazão nos reservatórios, impactando o Sistema Interligado Nacional (SIN).

Para que boa parte da matriz energética do Brasil não dependa das hidrelétricas e para que no futuro o país possa desfrutar de um parque gerador 100% renovável, inutilizando formas de energia prejudiciais ao meio ambiente como as termelétricas, é imprescindível que seja investido cada vez mais no desenvolvimento de novas tecnologias de geração de energia, onde a geração heliotérmica se mostra promissora.

3. Metodologia

O método de pesquisa utilizado no presente artigo é a pesquisa bibliográfica, onde foi realizado coleta de dados sobre as fontes de energia mais utilizadas no Brasil e como as crises hídricas e mudanças climáticas têm afetado o cenário do setor energético.

Realizou-se uma abordagem quantitativa, expondo brevemente os tipos de geração heliotérmica, suas vantagens específicas, coletando informações no website da ONS sobre os níveis dos reservatórios que abastecem usinas hidroelétricas brasileiras e analisando o gráfico da DNI (*Direct Normal Irradiance*) no Brasil.

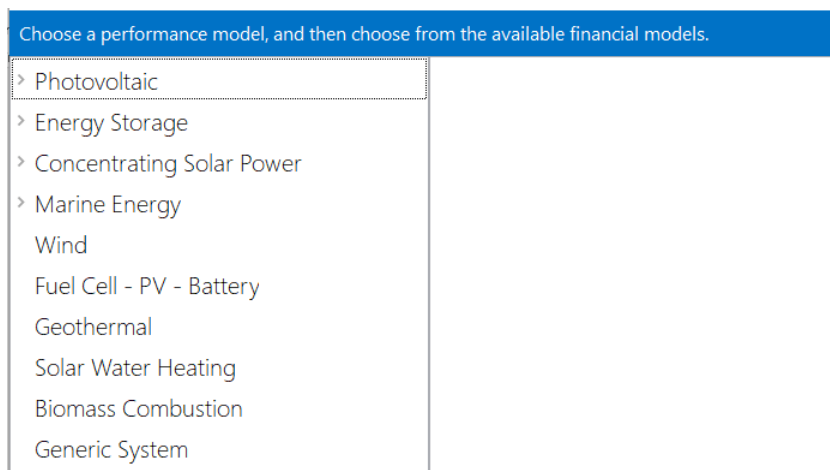
A aplicação foi feita com base neste estudo, através de três simulações no *software* SAM da construção de uma usina heliotérmica em localidades do país onde se observou um maior índice de radiação solar direta e foram coletados dados de geração de energia elétrica para validar sua funcionalidade e construção.

Espera-se ao final da simulação, demonstrar o potencial energético disponível na região nordeste e apresentar a construção da usina heliotérmica como uma solução para

revitalizar o sertão nordestino e desenvolver pequenos centros urbanos, gerando emprego e movimentando a economia local.

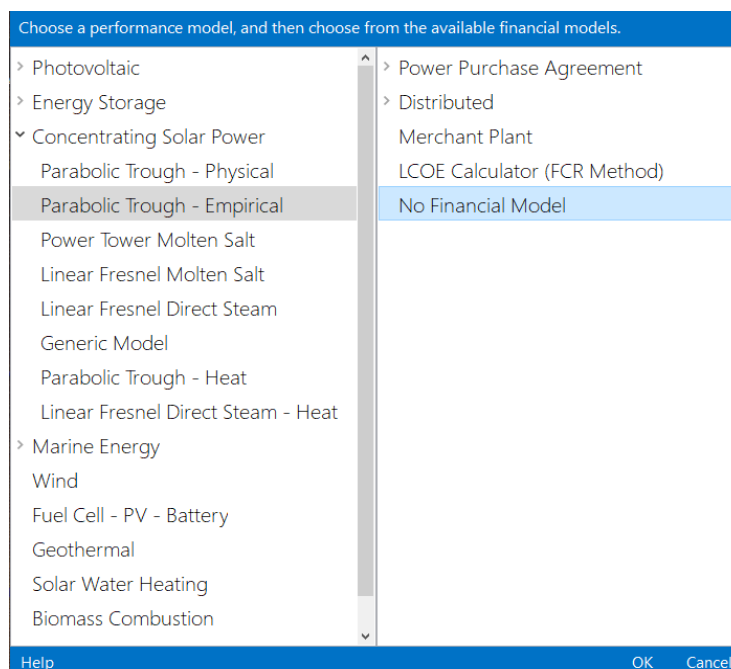
O SAM é um aplicativo voltado para desenvolvedores e empresas diretamente ligados ao campo de energias renováveis. Primeiro, foi necessário realizar a seleção do tipo de usina que será projetada, como o SAM é um sistema de desenvolvimento para fontes de energia renovável, ele dispõe de modelos de usinas eólicas, biomassa entre outras, conforme mostrado na figura 11. Seguindo o mesmo modelo da usina criada em Rosana, foi selecionado o modelo heliotérmico de cilindro parabólico, exemplificado na figura 12.

Figura 11 - Modelos de Usinas Disponíveis no SAM



Fonte: SAM, 2022

Figura 12 - Modelos Cilindro Parabólico



Fonte: SAM, 2022

Durante a utilização do programa, tem-se completo domínio sobre todas as variáveis de entrada, disponibilizando também parâmetros que são configurados de acordo com o tipo de tecnologia e forma de geração selecionada.

Configurados todos os parâmetros, durante a simulação o SAM disponibiliza dados que podem ser manipulados para se obter a análise desejada, criando gráficos e tabelas que podem ser exportados para planilhas Excel ou em formato de arquivo PDF.

Para tornar a simulação o mais fidedigna possível, o SAM disponibiliza um banco de dados climáticos de diversas localidades ao redor do mundo, com temperatura do local, velocidade do vento, índice de radiação entre outros, baseados em medições de anos anteriores, conforme mostrado na figura 13, todos os pontos grifados na cor azul são preenchidos automaticamente pelo software (BITENCOURT, 2019; SAM, 2022).

Figura 13 - Dados da localidade de Ourolândia, BA

The screenshot shows the SAM software interface with the following sections:

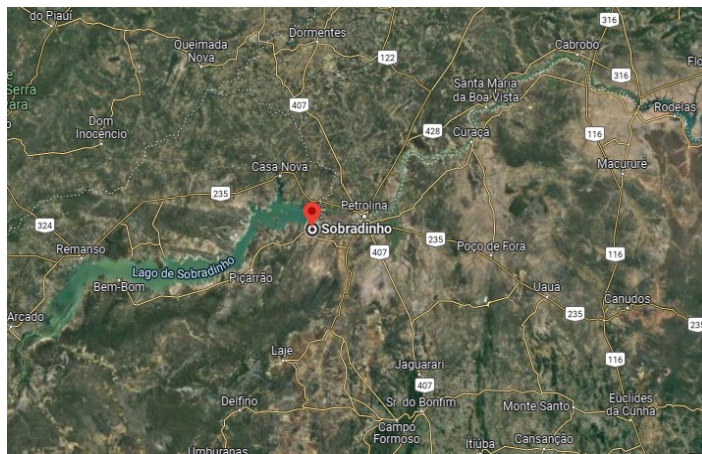
- Download Weather Files:** A list of weather files is shown, with 'ourolandia_-10.9691_-41.0811_psm3-tmy_60_tmy' selected. Below the list, there are buttons for 'Add/remove weather file folders...' and 'Refresh library'.
- Download Weather Files:** A section explaining that the NSRDB is a database of thousands of weather files. It includes a note: 'The NSRDB is a database of thousands of weather files that you can download and add to your solar resource library. Download a default typical-year (TMY) file for most long-term cash flow analyses, or choose files to download for single-year or P50/P90 analyses. See Help for details.'
- Weather Data Information:** A section showing the details of the selected weather file. It includes a text box for 'Weather file' containing the path 'C:\Users\Pichau\SAM Downloaded Weather Files\ourolandia_-10.9691_-41.0811_psm3-tmy_60_tmy.csv' and a 'View data...' button.
- Header Data from Weather File:** A section displaying the header data from the weather file. It includes fields for Latitude (-10.95 DD), Longitude (-41.1 DD), Time zone (GMT -3), Elevation (603 m), and Time step (60 minutes). It also shows the Location (1972118) and Data Source (NSRDB). A note states: 'CSP models use a different time convention than NREL NSRDB data. See Help for details.'
- Annual Averages Calculated from Weather File Data:** A section displaying the annual averages calculated from the weather file. It includes a table with the following data:

Parameter	Value	Unit
Global horizontal	6.06	kWh/m ² /day
Direct normal (beam)	6.07	kWh/m ² /day
Diffuse horizontal	1.94	kWh/m ² /day
Average temperature	24.0	°C
Average wind speed	3.6	m/s
- Optional Data:** A section for optional data, currently empty.

Fonte: SAM, 2022

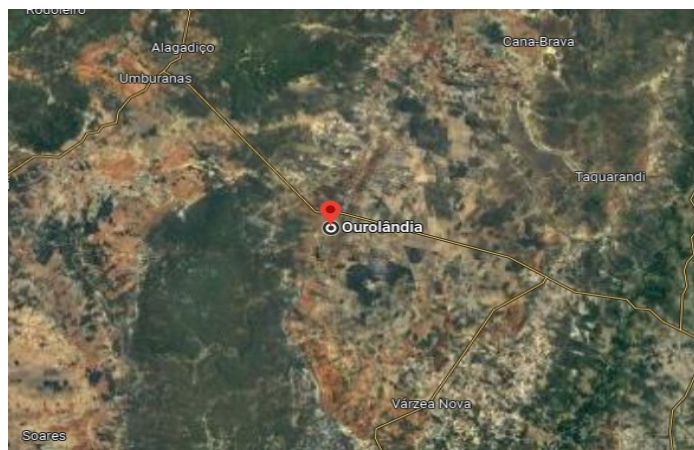
No desenvolvimento desta simulação, foi escolhida a tecnologia Cilindro-parabólico, mesma tecnologia utilizada na usina de Rosana-SP. Analisando o mapa de DNI, foram selecionadas três localidades: Sobradinho e Ourolândia, ambas cidades no estado da Bahia, e Pedro Afonso, no Tocantins, conforme mostrado nas figuras 14 a 16.

Figura 14 - Localização de Sobradinho, BA



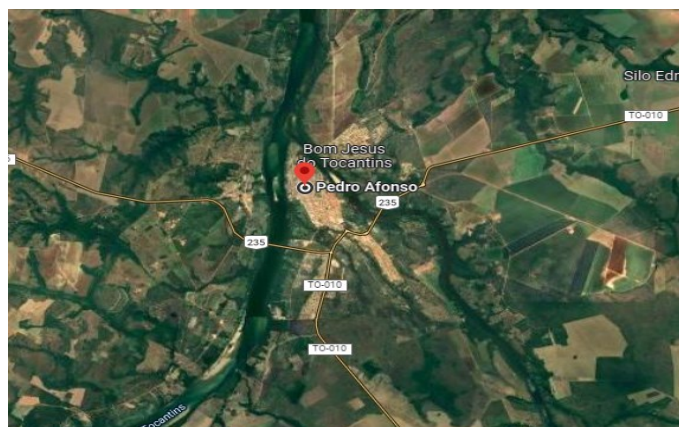
Fonte: Google Maps, 2022

Figura 15 - Localização de Ourolândia, BA



Fonte: Google Maps, 2022

Figura 16 - Localização de Pedro Afonso, TO



Fonte: Google Maps, 2022

Estas cidades foram selecionadas com base no espaço disponível para a instalação da usina, por conta do alto índice de radiação solar que incide sobre estas regiões e também pela proximidade com linhas de transmissão de energia elétrica. No caso de Sobradinho a escolha por esta localidade também se deu pela existência da usina hidrelétrica de Sobradinho com capacidade de geração de 1.050.300 kW.

Para a simulação da planta heliotérmica, foram utilizados, os seguintes parâmetros, baseados no projeto da usina de Rosana, apresentada na figura 17, com algumas pequenas variações:

- Potência elétrica líquida = 0,5 MW.
- Tecnologia heliotérmica = concentrador cilindro-parabólico.
- Tecnologia de espelhos = Siemens *SunField 6*.
- Tamanho do concentrador = 5,77 x 95,2 m.
- Quantidade de concentradores = 6 SCAs → 3 loops.
- Área de concentração = 5845 m².
- Tecnologia de armazenamento térmico = *thermocline*.
- Tempo de armazenamento = 1,5 h.

Figura 17 - Usina Termossolar de Rosana-SP



Fonte: Canal Energia, 2022.

Na aba do sistema Campo Solar (em inglês, *Solar Field*) são especificados os parâmetros da estrutura de usina heliotérmica. Nesta aba foram alterados os parâmetros de temperatura ambiente, radiação direta normal, velocidade do vento, número de SCAs (*Solar Collector Assembly*) e o tipo de fluido térmico utilizado na geração de calor pelos coletores solares, seguindo as especificações mencionadas anteriormente e demarcados em vermelho na figura 18. Cada SCA é composto por um conjunto com um número específico de elementos coletores solares, conforme demonstrado na figura. Quando estes SCAs são interligados em série constituem um loop, conforme demonstrado na figura 19. O fluido

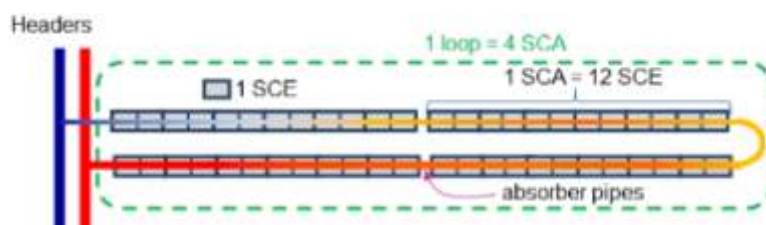
térmico utilizado na simulação é o Therminol 66, um óleo em fase líquida de transferência térmica, com temperatura de operação de 0 a 345°C, comumente utilizado em projetos de usinas heliotérmicas e sistemas de geração de vapor.

Figura 18 - Aba Solar Field

Field Layout		Solar Multiple (Design Point)	
<input type="radio"/> Option 1:	Solar Multiple 0.8	Calculated Values	
<input checked="" type="radio"/> Option 2:	Solar Field Area 5845 m ²	Solar Multiple	10.7247706422018
Distance Between SCAs in Row	3 m	Aperture Reflective Area	5,845 m ²
Row Spacing, Center to Center	6 m	Solar Multiple Reference Conditions	
Number of SCAs per Row	6	Ambient Temp.	26.7 °C
Deploy Angle	10 deg	Direct Normal Radiation	6200 W/m ²
Stow Angle	170 deg	Wind Velocity	1.2 m/s
Heat Transfer Fluid		Reference Condition (SM=1)	
Solar Field HTF Type Therminol 66		Exact Aperture Reflective Area	290.90 m ²
Field HTF Min Operating Temp.	0 °C	Exact Number of SCAs	0.53
Field HTF Max Operating Temp.	345 °C	Values From Other Pages	
Solar Field Inlet Temp.	293 °C	Aperture Area per SCA	545.0 m ² /SCA
Solar Field Outlet Temp.	391 °C	HCE Thermal Losses	38.0 W/m ²
Solar Field Initial Temp.	100 °C	Optical Efficiency	0.750
Piping Heat Loss at Design Temp.	10 W/m ²	Design Turbine Thermal Input	1.338 MWt
Piping Heat Loss Coefficient 1	0.001693	Orientation	
Piping Heat Loss Coefficient 2	-1.683e-05	Collector Tilt	0 deg
Piping Heat Loss Coefficient 3	6.78e-08	Collector Azimuth	0 deg
Solar Field Piping Heat Losses	9.9 W/m ²	Tilt: horizontal=0, vertical=90	
Minimum HTF Temp.	50 °C	Azimuth: equator=0, west=90, east=-90	
HTF Gallons per Area	0.614 gal/m ²	Land Area	
		Solar Field Land Area	1 acres
		Non-Solar Field Land Area Multiplier	1.4
		Total Land Area	890 acres

Fonte: SAM, 2022

Figura 19 - Estrutura 1 loop com 4 SCAs



Fonte: BARCIA et al., 2010

Na aba de configuração do coletor, foi necessário realizar a especificação do conjunto coletor solar. Além do tipo de coletor é possível visualizar seu comprimento, sua largura e área. Para este projeto, foi especificado o coletor fabricado pela Siemens, modelo SunField 6, mesmo coletor utilizado na usina de Olivenza 1 na Espanha, exemplificado na figura 20.

Figura 20 - Seleção do Tipo de Coletor Solar

Solar Collector Assembly (SCA) Library								
Filter:		Name ▾						
Name	SCA Length	Aperture	Aperture Area	Focal Len	IAM Coefficient F0	IAM Coefficient F1	AM C	^
Luz LS-2	50	5	235	1.8	1	0.0506	-0.176	
Luz LS-3	100	5.75	545	2.1	1	0.0506	-0.176	
Solargenix SGX-1	100	5	470.3	1.8	1	0.0506	-0.176	
Albion Trough AT150 (Manufacturer Specifications)	150	5.774	817.5	1.71	1	0.0506	-0.176	
Siemens SunField 6	95.2	5.776	545	2.17	1	-0.0753	-0.036	
SkyFuel Sky Trough (with 80-mm OD receiver)	115	6	656	2.15	1	0.0327	-0.135	▾

Fonte: SAM, 2022

Seguindo os parâmetros iniciais do projeto, na simulação a usina possui uma potência elétrica líquida de 0,5 MWatts, exemplificado na figura 21. O sistema de armazenamento do fluido foi configurado com dois tanques com tempo de armazenamento de 1,5 horas, exposto na figura 22.

Figura 21 - Características da Planta

Plant Characteristics		-System Availability-	
Design Gross Output	0.5 MWe	<div>Edit losses...</div> Constant loss: 4.0 % Hourly losses: None Custom periods: None	
Estimated Gross to Net Conversion Factor	0.95		
Estimated Net Output at Design	0.5 MWe		
Parasitic losses typically reduce net output to approximately 90 % of design gross power		System availability losses reduce the system output to represent system outages or other events.	

Fonte: SAM, 2022

Figura 22 - Parâmetros de Armazenamento

Thermal Energy Storage (TES)			
Equivalent Full Load Hours of TES	1.5 hours	Maximum Energy Storage	2.01 MWht
Storage System Configuration	Two Tank ▾	Design Turbine Thermal Input	1.338 MWt
Storage Fluid Type	Therminol 66 ▾	Max. Power To Storage	16.506 MWt
Turbine TES Adj. - Efficiency	0.985	Max. Power From Storage	1.559 MWt
Turbine TES Adj. - Gross Output	0.998	Heat Exchanger Duty*	0.000
Initial Energy as Fraction of Maximum	0 MWht	Storage HTF min operating temp	0 °C
Tank Heat Losses	0.97 MWt	Storage HTF max operating temp	345 °C

Fonte: SAM, 2022

4. Resultados e Discussões

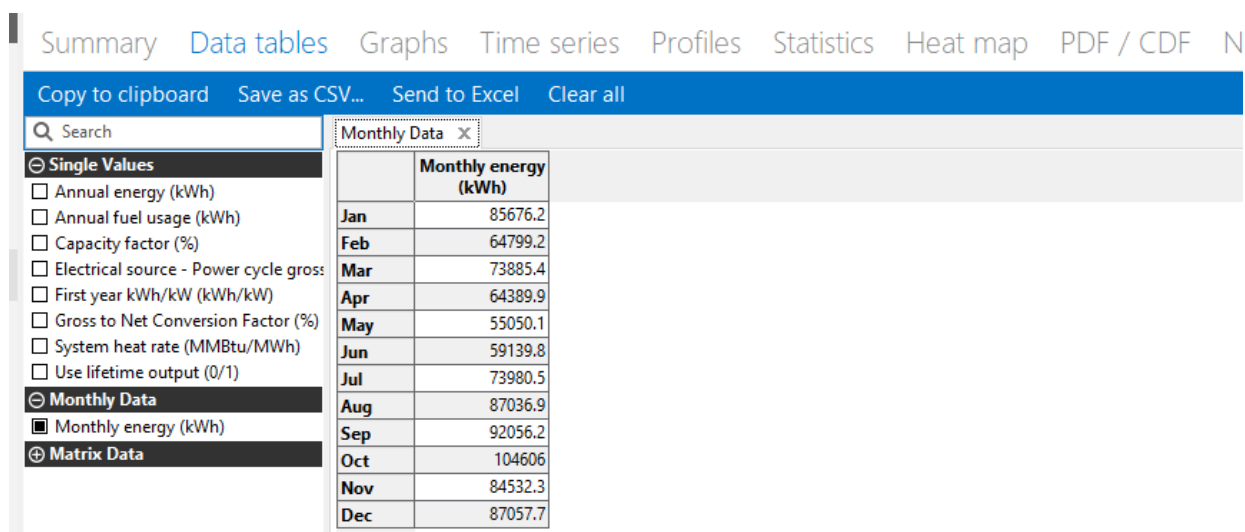
Conforme abordado anteriormente no presente artigo, o software SAM disponibiliza a partir da simulação da construção da usina heliotérmica, uma série de resultados baseados nos dados inseridos no tipo de simulação. Neste tópico, serão apresentados os resultados obtidos das três simulações feitas, idealizando a construção da usina nas localidades de Ouralândia-BA, Sobradinho-BA e Pedro Afonso-TO. Para a simulação foi escolhido uma

estrutura não financiada, sem os parâmetros financeiros e os parâmetros demonstrativos, utilizados na apresentação dos resultados do presente artigo, foram selecionados:

- Geração anual no primeiro ano.
- Fator de Capacidade.
- Geração Mensal.

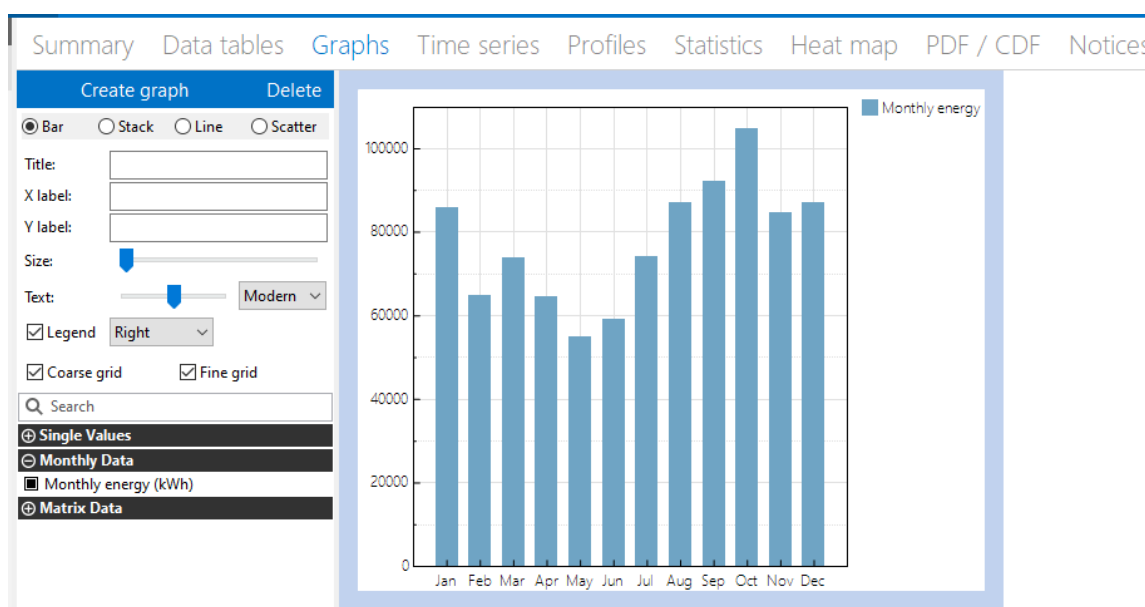
Estas e outras análises estão disponíveis para visualização e estudo na plataforma do SAM, conforme demonstrado nas figuras 23 e 24, sendo possível gerar gráficos, tabelas, arquivos e consultar dados para gerar relatórios, possibilitando um estudo completo do desenvolvimento do projeto da usina heliotérmica.

Figura 23 - Tela de Visualização – Dados da Geração Mensão da Usina



Fonte: SAM, 2022

Figura 24 - Gráfico Gerado A Partir da Geração Mensal



Fonte: SAM, 2022

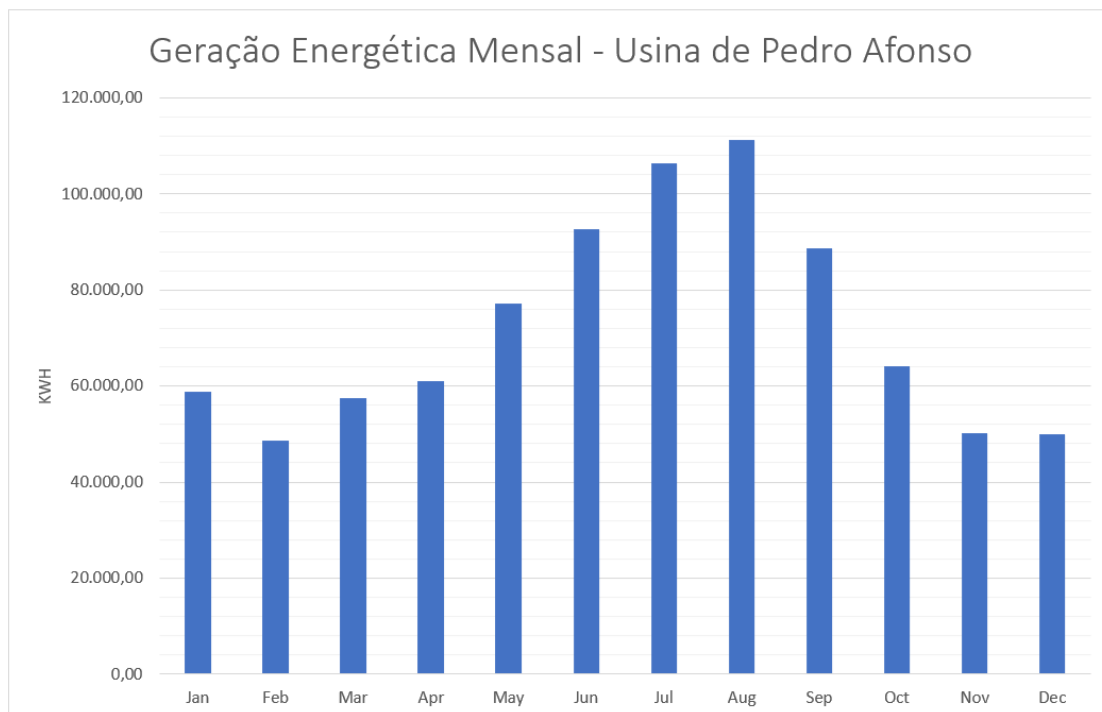
Para a melhor visualização, dos dados obtidos foram transmitidos para uma planilha Excel, onde também foi gerado um gráfico dedicado para cada parâmetro especificado e os resultados estão demonstrados nas tabelas 3 a 5 e nas figuras 25 a 28.

TABELA 3 - Geração Energética Mensal - Usina de Pedro Afonso

Usina de Pedro Afonso	
Mês Vigente	Geração Energética Mensal (kWh)
Jan	58.879,30
Feb	48.685,80
Mar	57.574,10
Apr	60.933,10
May	77.255,50
Jun	92.725,90
Jul	106.340,00
Aug	111.282,00
Sep	88.740,80
Oct	64.074,00
Nov	50.091,70
Dec	50.018,10

Fonte: Elaborado com as informações fornecidas pelo SAM, 2022

Figura 25 - Gráfico de Geração Mensal - Pedro Afonso



Fonte: Elaborado com as informações fornecidas pelo SAM, 2022

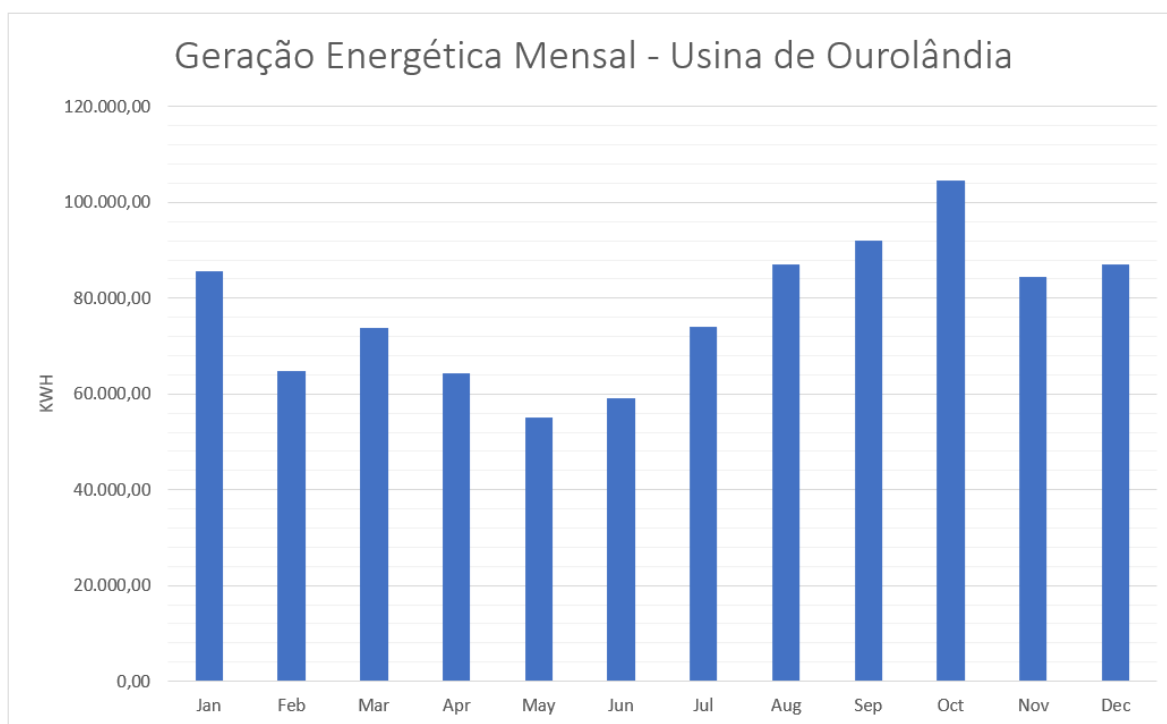
Na simulação realizada na cidade de Pedro Afonso, observou-se o menor desempenho entre as três cidades selecionadas para a construção da usina. Devido ao clima predominantemente tropical na região, o desempenho de geração no primeiro e quarto trimestre do ano fica abaixo de 80.000 kWh, quando ocorrem os períodos de chuva na região e a formação de nuvens e umidade tende a ser maior. Já no segundo e terceiro trimestre, época que o clima fica mais seco e o sol predomina na maior parte do tempo, a geração da usina chega a atingir níveis acima de 100.000 kWh.

Tabela 4 - Geração Energética Mensal - Usina de Ouroilândia.

Mês Vigente	Geração Energética Mensal (kWh)
Jan	85.676,20
Feb	64.799,20
Mar	73.885,40
Apr	64.389,90
May	55.050,10
Jun	59.139,80
Jul	73.980,50
Aug	87.036,90
Sep	92.056,20
Oct	104.606,00
Nov	84.532,30
Dec	87.057,70

Fonte: Elaborado com as informações fornecidas pelo SAM, 2022

Figura 26 - Gráfico de Geração Mensal - Ouroilândia



Fonte: Elaborado com as informações fornecidas pelo SAM, 2022

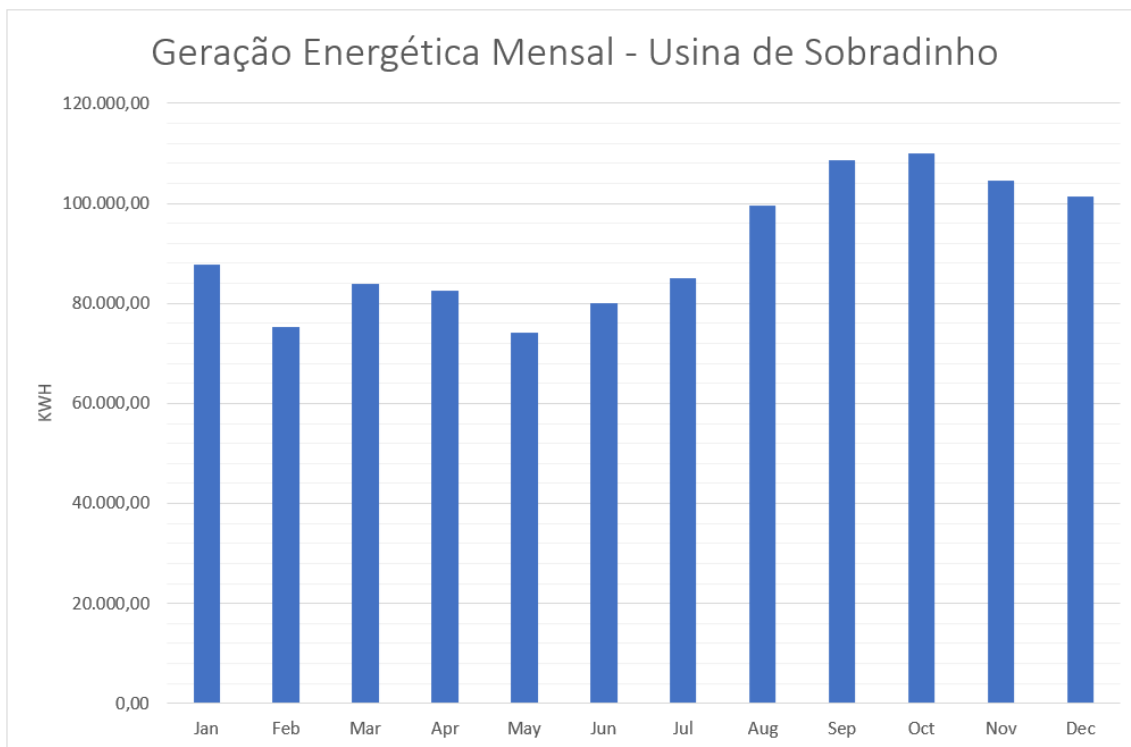
A construção da usina na cidade de Ourolândia se mostrou mais promissora analisando os dados fornecidos pelo SAM. É possível notar que boa parte do ano, a geração mensal da instalação fica acima 60.000 kWh, com exceção dos meses de maio e junho, condizentes com o período de fim do outono e começo do inverno no Brasil. Nos demais meses, a geração atinge níveis mais satisfatórios devido ao grande índice de radiação disponível na região.

Tabela 5 – Geração Energética Mensal – Usina de Sobradinho

Mês Vigente	Geração Energética Mensal (kWh)
Jan	87.694,90
Feb	75.247,40
Mar	84.000,90
Apr	82.657,60
May	74.186,00
Jun	80.050,10
Jul	85.025,20
Aug	99.558,00
Sep	108.701,00
Oct	109.909,00
Nov	104.629,00
Dec	101.339,00

Fonte: Elaborado com as informações fornecidas pelo SAM, 2022

Figura 27 - Gráfico de Geração Mensal - Sobradinho



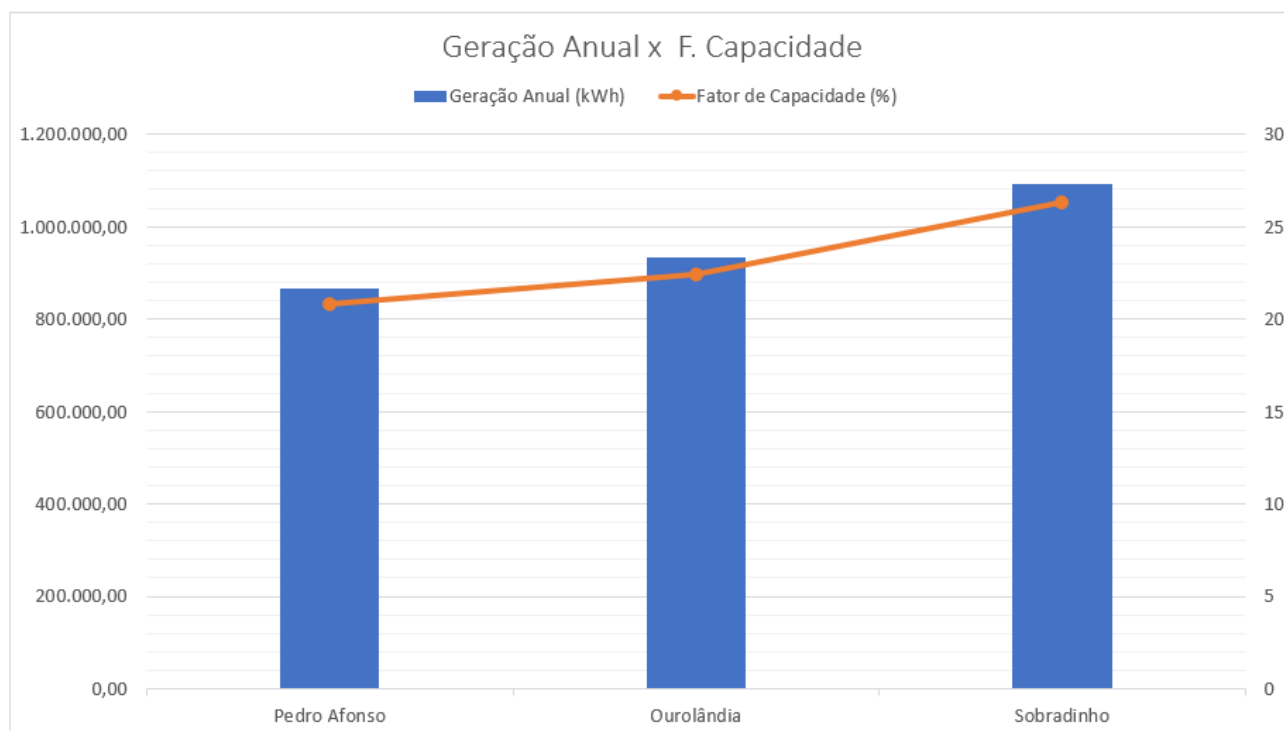
Fonte: Elaborado com as informações fornecidas pelo SAM, 2022

A cidade de Sobradinho foi a que apresentou um melhor resultado das três selecionadas, pode-se observar que os índices de geração primassem acima de 70.000 kWh, com destaque para os meses de agosto até dezembro, onde tem-se um salto considerável na geração, devido ao fim do inverno, início da primavera e posteriormente o verão. Outro fator que contribui para este resultado é o clima predominantemente seco nas regiões do interior do estado da Bahia, com baixo volume de chuvas anual.

Conforme exemplificado na figura 31, foi possível gerar um gráfico estabelecendo uma relação entre o fator de capacidade e a geração anual da usina durante o primeiro ano. O fator de capacidade é a relação entre a energia gerada pela usina e a sua respectiva capacidade instalada, dado em porcentagem. Ressaltando o resultado preliminar, pode-se observar que a usina de Sobradinho possui um melhor desempenho comparada às outras duas cidades selecionadas.

Figura 28 - Energia elétrica anual e fator de capacidade para as cidades de interesse

Cidade	Geração Anual (kWh)	Fator de Capacidade (%)
Pedro Afonso	866.600,00	20,8
Ourolândia	932.210,00	22,4
Sobradinho	1.092.998,00	26,3



Fonte: Elaborado com as informações fornecidas pelo SAM, 2022

5.Considerações Finais/Conclusões

Com os dados obtidos através do software, foi possível determinar que as três localidades selecionadas são opções promissoras para receber uma nova usina heliotérmica no Brasil. Neste caso, é possível direcionar a energia para abastecimento local das cidades ou realizando a injeção da mesma na rede de transmissão.

Fica claro que, através dos argumentos apresentados, a tecnologia heliotérmica mostra-se como mais uma alternativa entre as energias renováveis para diversificação da matriz

energética e também para a redução da utilização de combustíveis fósseis. Ao redor do mundo, é possível distinguir uma tendência pela busca destas alternativas, ocupando cada vez mais a matriz energética de países como Estados Unidos, Espanha e China. A crise no abastecimento de energia provocada por mudanças climáticas e eventos como guerras e desastres naturais têm acelerado esse processo, ao passo que o Brasil não pode ficar para trás.

O clima predominantemente tropical do Brasil favorece a exploração de energias renováveis como alternativa para sanar estas questões. Foi possível identificar que a região do interior do nordeste, onde predomina quase o clima semiárido, seria o território ideal para a construção de novas usinas heliotérmicas. A baixa umidade e ausência de chuvas em boa parte do ano, fazem com que a região tenha altos níveis de radiação solar direta, fator essencial para as usinas que utilizam o sol como fonte de energia. As regiões no sertão nordestino, próximas a pequenos centros urbanos, são ótimas opções para ocupar as instalações de uma usina heliotérmica. Há anos o governo federal busca meios de revitalizar o sertão nordestino através de projetos de transposição de rios e desenvolvimento de ferrovias. Já existem pequenas propriedades que são alugadas por empresas que buscam fomentar a utilização de fontes renováveis para a instalação de usinas solares, sendo um dos possíveis caminhos para disseminação da tecnologia heliotérmica. O intuito é incentivar a construção destas plantas em regiões que não possuem função agrícola ou industrial, a fim de que a usina possa ser um polo de desenvolvimento para a região, gerando empregos, crescimento de cidades próximas, revitalização do sertão nordestino e por consequência, melhora nas condições de vida da população da região.

Neste contexto, a cidade Sobradinho mostra-se a melhor escolha devido a existência de uma instalação geradora já construída na cidade, facilidade na interligação da planta heliotérmica com a rede de transmissão e por consequência, fornecendo uma alternativa para a geração de energia quando o reservatório da hidrelétrica de Sobradinho estiver abaixo da capacidade em períodos de estiagem. Os dados e estudos do presente artigo foram focados exclusivamente na região nordeste por objetivos que já foram expostos, mas isso não torna inviável a criação de outras plantas como a de Rosana em outras regiões do país, no entanto as características de clima, índice de refração e possibilidade armazenamento térmico deve ser levado em consideração no desenvolvimento do projeto.

A energia heliotérmica mostra-se como mais uma alternativa para diversificação do parque energético em tempos onde a busca por novas fontes de energia toma cada vez mais espaço na pauta de reuniões governamentais ao redor do mundo. Cabe ao Brasil incentivar iniciativas no desenvolvimento desta e de outras tecnologias. O desafio é grande e exige cooperação entre entidades governamentais e privadas para que no futuro o país possa desfrutar dos resultados obtidos da disseminação da energia heliotérmica e de outras formas de energia.

6. Referências Bibliográficas

Interior de SP tem a primeira usina termossolar do país. Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2022/04/11/interior-de-sp-tem-a-primeira-usina-termossolar-do-pais.ghtml> . Acesso em 12 maio, 2022.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica –. CHAMADA 019/2015: PROJETO ESTRATÉGICO: “DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA NACIONAL DE GERAÇÃO

HELIOTÉRMICA DE ENERGIA ELÉTRICA”. 2015. Disponível em: [Chamada Nº 012/2010 - Tema Estratégico SPE/SRG/SRT/SEM \(aneel.gov.br\)](https://www.aneel.gov.br/licitacoes/licitacoes.asp?acao=detalhar&id=123456789) . Acesso em: 26 agosto,2022.

BITENCOURT F.M ESTUDO DA TECNOLOGIA DE CONCENTRADOR SOLAR: MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE UMA PLANTA PILOTO TERMOSSOLAR DO TIPO CILINDRO-PARABÓLICO. 2019 TCC(Graduação) - Universidade Federal De Santa Catarina,2019.

Canal Energia, Termossolar entra em operação em São Paulo. Disponível em <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53206464/termossolar-entra-em-operacao-em-sao-paulo>. Acesso em: 18 agosto, 2022.

CARVALHO, C. C. Fontes heliotérmicas: um estudo sobre o funcionamento e o potencial de implementação da tecnologia no Brasil. 2016. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia Industrial Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

BRANCALIÃO, N. F. SISTEMAS HELIOTÉRMICOS: RECURSO SOLAR, TECNOLOGIA E INFRAESTRUTURA. Projeto de Graduação UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, FACULDADE DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA, Brasília, 2015

Central Receiver System, Solar Thermal Power Generation. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/central-receiver-system> . Acesso em: 18 agosto, 2022.

CASTRO, G. M. AVALIAÇÃO DO VALOR DA ENERGIA PROVENIENTE DE USINAS HELIOTÉRMICAS COM ARMAZENAMENTO NO ÂMBITO DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

CASTRO, L. C. e. ANÁLISE COMPARATIVA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA HELIOTÉRMICA EM DIFERENTES REGIÕES BRASILEIRAS. 2016. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética – Balanço Energético Nacional 2022. Disponível em:<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em: 18 agosto, 2022.

FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL, Paris Agreement NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTION (NDC). Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Updated%20-%20First%20NDC%20-%20%20FINAL%20-%20PDF.pdf>. Acesso em: 19 agosto, 2022.

LOVEGROVE, K.; STEIN, W. Concentrating solar power technology Principles, developments and applications. Woodhead Publishing Limited, 2012.

NATURE, Brazil is in water crisis — it needs a drought plan 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-021-03625-w>. Acesso em: 18 agosto, 2022.

Site Portal Solar, ENERGIA HELIOTÉRMICA (termossolar). Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-heliotermica-entenda-como-funciona>. Acesso em: 18 agosto, 2022.

ZHIFENG W. Blue Book of China's Concentrating Solar Power Industry 2021. Disponível em: <https://www.solarpaces.org/wp-content/uploads/Blue-Book-on-Chinas-CSP-Industry-2021.pdf>. Acesso em: 18 agosto, 2022.

GAZOLI, J. R. et al. Dimensionamento Básico Do Campo Solar De Concentradores CilindroParabólico Da Usina Termossolar Porto Primavera. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, p. 10, 2018.

Preço da energia elétrica já supera a inflação. Disponível em: <http://blog.somaenergia.com.br/energia-eletrica-e-inflacao/#:~:text=Dados%20divulgados%20pela%20Associa%C3%A7%C3%A3o%20Brasileira,%2C%20uma%20diferen%C3%A7a%20de%20137%25>. Acesso em 08 setembro, 2022.

Crise de energia: Como se prevenir? Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/crise-de-energia-como-se-prevenir> . Acesso em 08 setembro, 2022.

Tudo o que você precisa saber sobre a crise hídrica de 2021. Disponível em: https://www.alemdaenergia.engie.com.br/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-a-crise-hidrica/?gclid=CjwKCAjwpKyYBhB7EiwAU2Hn2Rdmb6P2YKL8i68KCo48gW2tFgm0d6dYM_cAfd8GG2JGd4p1UmbShoCujMQAvD_BwE . Acesso em: 08 setembro, 2022.

Histórico de operação – dados hidrográficos vazões do sistema. Disponível em http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/dados_hidrologicos_vazoes.aspx . Acesso em: 08 setembro, 2022.

NIRANJAN A. Mudanças climáticas têm impactos irreversíveis, alerta IPCC. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas-t%C3%AAm-impactos-irrevers%C3%ADveis-alerta-ipcc/a-58804980> . Acesso em: 26 setembro, 2022.

Individual Units for Solar Thermal in Spain. Disponível em: http://globalenergyobservatory.org/includes/utilities/analysis/analysisPlot.php?format=View_Table&graph=false&module=Units&bestfit=false&ex_year=0&fields0=Individual_Units&noOfFields=1&country0=199&noOfCountries=1&state0=0&noOfStates=1&type0=8&noOfTypes=1 .Acesso em: 11 outubro, 2022.

Projeto P&D Termosolar CESP – Usina de Rosana-SP. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/arquivos/painel_luis_alexandre_-_ped_estrategico_heliotermica_cesp.pdf . Acesso em: 03 outubro, 2022.

Brasil 2040 – Resumo executivo, 2015. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1mrr95jEtE036wK4iJTsm4WM1o1StsZCI/view> . Acesso em: 20 outubro, 2022.

Agência EPBR - Hidrelétricas na Amazônia voltam aos holofotes em ano eleitoral. Disponível em: [https://epbr.com.br/hidreletricas-na-amazonia-voltam-aos-holofotes-em-ano-eleitoral/#:~:text=As%20usinas%20de%20Jamanxim%20\(881,e%20Jatob%C3%A1%20\(1.650%20MW\)](https://epbr.com.br/hidreletricas-na-amazonia-voltam-aos-holofotes-em-ano-eleitoral/#:~:text=As%20usinas%20de%20Jamanxim%20(881,e%20Jatob%C3%A1%20(1.650%20MW))). Acesso em: 19 outubro, 2022.

Manual Completo do Software System Advisor Model (SAM). Disponível em: https://sam.nrel.gov/images/web_page_files/sam-help-2021-12-02r2.pdf . Acesso em: 20 julho, 2022.

As Águas de Sobradinho. Disponível em: <https://ferdinandodesousa.com/2018/10/30/as-aguas-de-sobradinho/> . Acesso em: 21 outubro, 2022.

A Companhia Hidrelétrica do São Francisco (Chesf) – Sobradinho. Disponível em: <https://www.chesf.com.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/Sobradinho.aspx>. Acesso em: 21 outubro, 2022.

Países líderes em energia solar concentrada instalada (CSP) em 2021. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/494169/global-installed-concentrated-solar-power-csp-capacity-by-key-country/>. Acesso em: 08 agosto, 2022.