

ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA NO ANTIGO LIXÃO DO MUNICÍPIO DE SINOP – MT

LUCAS TEODORO VALIM¹
RAFAEL GOULART DE ANDRADE SANTOS²

RESUMO: Com a crescente demanda por energia, preocupação com o meio ambiente e com os recursos naturais não renováveis, vem ocorrendo a intensificação pela diversidade da matriz energética. Assim, surge o conceito de crescimento sustentável, onde os sistemas de energia fotovoltaica se apresentam como uma fonte viável na geração de energia devido a ser uma fonte de energia limpa, que não degrada o meio ambiente e gera economia com o tempo. Dado este fato, na atualidade o aproveitamento das áreas de lixão vem sendo estudada para a geração de energia elétrica pelo emprego de placas fotovoltaicas nas suas áreas encerradas, que antes eram consideradas espaços sem utilidade. Diante deste cenário, este estudo visa avaliar o potencial econômico considerando o emprego da energia fotovoltaica em áreas de lixão, realizando um estudo de caso do antigo lixão de Sinop - MT. Este tipo de instalação vem ganhando destaque devido ao aproveitamento de um espaço até então subutilizado. Sendo assim, para o estudo da viabilidade econômica foi proposto um sistema conectado à rede elétrica da concessionária local e através de dados e quantitativos a ser coletados em empresas atuantes no mercado, foi realizado uma análise econômica da implantação deste sistema. Foi possível concluir que foi possível usar uma área de 3,28% do lixão, que recebe radiação solar de 1869 kWh/m², necessitando de 8,6 anos para retorno do investimento.

PALAVRAS-CHAVE: Aproveitamento de Áreas; Demanda Energética; Energia Limpa.

STUDY OF THE ECONOMIC FEASIBILITY OF THE IMPLEMENTATION OF A PHOTOVOLTAIC PLANT IN THE FORMER DISPOSAL OF THE MUNICIPALITY FROM SINOP - MT

ABSTRACT: Com a crescente demanda por energia, preocupação com o meio ambiente e com os recursos naturais não renováveis, vem ocorrendo a intensificação pela diversidade da matriz energética. Assim, surge o conceito de crescimento sustentável, onde os sistemas de energia fotovoltaica se apresentam como uma fonte viável na geração de energia devido a ser uma fonte de energia limpa, que não degrada o meio ambiente e gera economia com o tempo. Dado este fato, na atualidade o aproveitamento das áreas de lixão vem sendo estudada para a geração de energia elétrica pelo emprego de placas fotovoltaicas nas suas áreas encerradas, que antes eram consideradas espaços sem utilidade. Diante deste cenário, este estudo visa avaliar o potencial econômico considerando o emprego da energia fotovoltaica em áreas de lixão, realizando um estudo de caso do antigo lixão de Sinop - MT. Este tipo de instalação vem ganhando destaque devido ao aproveitamento de um espaço até então subutilizado. Sendo assim, para o estudo da viabilidade econômica foi proposto um sistema conectado à rede elétrica da concessionária local e através de dados e quantitativos a ser coletados em empresas

¹ Acadêmico de Graduação, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário UNIFASIPE, Rua Carine, nº 11, Residencial Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: luck.td@gmail.com

² Professor, Engenheiro Civil, Centro Universitário UNIFASIPE, Rua Carine, nº 11, Residencial Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: rafaelgoulart12@gmail.com

atuantes no mercado, foi realizado uma análise econômica da implantação deste sistema. Foi possível concluir que foi possível usar uma área de 3,28% do lixão, que recebe radiação solar de 1869 kWh/m², gerando de 8,6 anos de retorno do investimento.

KEYWORDS: Clean Energy.; Energy Demand; Use of Areas.

1. INTRODUÇÃO

Apesar da energia fotovoltaica representar uma pequena parcela no sistema energético, ela é o tipo de geração que mais cresce em todo o mundo (AMARAL et al., 2016). Nos dias atuais, o modo de geração de energia não é adequado tampouco sustentável, além de que, o consumo crescente dos combustíveis fósseis, aliado ao aumento do efeito estufa ameaçam o fornecimento de energia em países em desenvolvimento. Desta forma, não há energia suficiente para acompanhar o crescimento do Brasil, sendo necessário investir em fontes de energia limpas, sustentáveis, acessíveis e seguras (DO VALE, 2018).

Por não agredir o meio ambiente, a energia solar é uma alternativa para outras fontes de energia que causam impacto ambiental. Além disso, devido à escassez das chuvas o Brasil vem enfrentando dificuldades na geração de energia elétrica pelas hidrelétricas, onde por vezes recorrem às termelétricas, que rotineiramente provocam aumentos nas tarifas (ARAÚJO, 2017).

Apesar do elevado custo inicial de implementação do sistema fotovoltaico, quando comparado a investimentos de mesmo risco, o sistema voltaico se destaca devido à elevada taxa de retorno financeiro (PERONDI, 2019).

Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 (PDEE) desenvolvido pelo Ministério de Minas e Energia, o consumo de energia elétrica no Brasil em 2024 será de 790,9 TWh. Considerando que em 2020 o consumo foi de 254,6 TWh, há a necessidade de desenvolver fontes de energia que supram essa demanda (MME, 2015).

Além disso, o relatório do Balanço Energético Nacional (BEM) documenta e divulga anualmente uma extensa pesquisa referente à oferta e consumo de energia no país, distribuição, uso final, dentre outros. Na matriz energética do Brasil, o emprego de diversas fontes está associado a um balanço de 48,4% de energias renováveis e 51,6% de outras fontes não renováveis (BEN, 2021).

A diversificação das fontes de energia e a utilização da geração distribuída com energias renováveis podem ser uma alternativa para a redução dos custos de transmissão e distribuição de energia. Apesar de a capacidade instalada de energia fotovoltaica no Brasil ser insignificante quando comparada a outras formas de geração, o país possui uma área superior a 8,5 milhões de km² que representa um grande potencial de geração de energia solar (FERREIRA et al., 2018).

Devido ao território brasileiro a estar localizado no hemisfério sul, ele recebe níveis de irradiação solar maiores aos encontrados nos países europeus. Além disso, devido a sua localização, a Região Nordeste possui um elevado potencial de geração de energia fotovoltaica (MONTENEGRO, 2013).

Contudo, no Brasil, esse amplo recurso solar é subutilizado. Com uma média de irradiação de 1.500 a 2.500 kWh/m² por dia, o cenário se mostra promissor para investimentos em recursos fotovoltaicos. Devido a fatores como a redução do custo dos equipamentos pelo avanço tecnológico, elevada incidência da radiação solar, aumento da tarifa de energia elétrica, pressão sobre o governo brasileiro e mudanças climáticas, é nítido a viabilidade de incentivos da aplicação da energia fotovoltaica (STILPEN e CHENG, 2015).

Contudo, do Vale (2018) afirma que, o custo de instalação tem sido a principal dificuldade para disseminar a tecnologia fotovoltaica. Isso se deve ao fato de a tecnologia não

ser produzida em solo brasileiro, que encarece os custos e representa uma grande dificuldade para o desenvolvimento da energia fotovoltaica.

Diante deste cenário, a construção civil passou a absorver os princípios da sustentabilidade e englobá-los em todas as áreas (MARTINAZZO, 2014). Assim, é importante almejar a eficiência energética, onde os recursos disponíveis são usados da melhor forma para garantir um maior desempenho com o menor gasto de energia possível (OLIVEIRA JÚNIOR; FERNANDES, 2018).

Quanto à disposição final dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil, a técnica predominante é o aterro sanitário. Contudo, essas áreas podem ser utilizadas para instalar outros sistemas, como o sistema da energia solar fotovoltaica. Normalmente, os aterros sanitários contêm grandes áreas passíveis de receber painéis fotovoltaicos. Sendo assim, esta pode ser uma alternativa viável em virtude de buscar utilizar um espaço que poderia permanecer ocioso (LOPES, 2017).

Nessa concepção, este trabalho visa propor um sistema de energia solar fotovoltaica conectado à rede, realizando um estudo de caso sobre a aplicação dessa tecnologia. Dessa forma, foi realizada a análise da viabilidade econômica da implantação de uma usina de energia solar fotovoltaica em um lixão na cidade de Sinop - MT visando um novo uso desta área.

Para tal, foi realizado o dimensionamento fotovoltaico, onde após obtidos os níveis de irradiação solar foi possível escolher o modelo das placas e inversores, dimensionar as perdas do sistema e número de placas. De posse desses dados, realizou-se o orçamento, que subsidiou o payback e a viabilidade da instalação do empreendimento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A tecnologia Solar Fotovoltaica (FV)

Segundo a NBR 10899, os componentes de um sistema fotovoltaico variam conforme a aplicação, porém todos apresentam o gerador fotovoltaico. Os demais elementos que podem constituir o sistema são os inversores, os controladores de carga, os dispositivos de controle, supervisão e proteção, de armazenamento de energia elétrica, a fiação, a fundação e a estrutura de suporte (ABNT, 2020).

Conforme Lopes (2017), o efeito fotovoltaico corresponde a transformação da radiação eletromagnética do Sol em energia elétrica pela diferença de potencial ou tensão elétrica, sobre uma célula composta por um 'sanduíche' de materiais semicondutores.

A transformação da radiação solar em eletricidade ocorre silenciosamente, sem emissão de gases e sem a necessidade de assistência de um operador do sistema. Neste sistema, a componente luminosa da energia solar (fótons) é utilizada para a conversão fotovoltaica, onde a conversão da energia solar em energia elétrica acontece pela incidência da radiação (calor e luz) em determinados materiais, como os semicondutores. No efeito fotovoltaico, os fótons da luz solar são convertidos em energia elétrica através de células solares (BRASIL, 2008).

Por vez, a componente térmica (radiação infravermelha) é empregada em outros usos, como o aquecimento de água (LABEEE, 2010). De acordo com Rüter (2004), os painéis fotovoltaicos resistem às condições climáticas, além de que possuem um período de manutenção em torno de 30 anos.

Sozinha, uma célula fotovoltaica produz pouca energia e baixa tensão elétrica. Mas diversas células ligadas em série fornecem elevadas quantidade de energia elétrica e tensão. Atualmente, as células fotovoltaicas podem ser formadas de silício monocristalino, policristalino ou amorfo, que apresentam confiabilidade, durabilidade e bom desempenho em serviço (VILLALVA e GAZOLI, 2012). Desta forma, um sistema fotovoltaico pode ser isolado ou conectado à rede de energia elétrica.

2.2. Sistemas fotovoltaico conectados à rede (SFCR)

O parque ou usina solar é um sistema fotovoltaico de grande porte projetado para produzir e comercializar energia elétrica. Assim, eles fornecem energia em alta tensão para propósitos de distribuição e venda a rede elétrica (LOPES, 2017). As usinas fotovoltaicas também podem ser independentes ou conectadas à rede de distribuição de energia elétrica, sendo que a última representa a tecnologia em maior ascensão no mundo (DO VALE, 2018).

Perondi (2019) infere que, no Brasil, a configuração dos SFCRs é simples: os painéis solares são conectados à um inversor de frequência e a um relógio bidirecional. Nos painéis, as células solares absorvem os fótons emitidos pelo sol e geram elétrons livres em corrente contínua, por meio do efeito fotovoltaico. A corrente gerada pelo movimento dos elétrons flui para o inversor que a transforma em corrente alternada, passível de ser injetada na rede. Já o medidor bidirecional mensura o fluxo de entrada e saída de energia na unidade consumidora.

Um SFCR é composto por módulos fotovoltaicos, inversor, estruturas de suporte dos módulos e pelo cabeamento elétrico. Por vez, um módulo fotovoltaico é formado por um conjunto de células dispostas sobre uma estrutura rígida e eletricamente conectadas (LOPES, 2017).

Já os inversores são dispositivos que fornecem energia elétrica em corrente alternada a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua, podendo ser proveniente de baterias, módulos fotovoltaicos ou células a combustível. Quando conectados à rede de energia elétrica, a tensão da saída do inversor deve estar em sincronia com a tensão da rede elétrica (PINHO e GALDINO, 2014).

Por vez, os mesmos autores afirmam que a estrutura de suporte se adapta ao terreno, aos módulos, à inclinação e orientação. Para instalações sobre o solo, é necessário o projeto de fundação. A fundação visa manter a orientação da estrutura em relação ao sol e evitar danos devido aos ventos fortes. Desta forma, ao escolher o tipo de fundação alguns fatores devem ser observados, como a topografia, o acesso ao local, as propriedades do solo, as condições climáticas extremas, a disponibilidade de mão de obra, o código de obras do município, dentre outros.

Para locais remotos e terrenos acidentados, a fundação tipo bloco é mais adequada devido a ser transportável, relativamente leve e poder ser pré-fabricada in loco. Além disso, é necessário pouca escavação e os blocos são posicionados com certa facilidade, reduzindo problemas com alinhamento (PINHO e GALDINO, 2014).

Há também os sistemas com rastreamento que seguem o movimento do sol através da rotação dos módulos fotovoltaicos. Isto aumenta a energia produzida, porém aumenta também os custos de manutenção e com equipamentos. Contudo, estes sistemas com rastreamento não são comumente instalados sobre aterros por causa de possíveis problemas com recalques. Por fim, comumente a fiação do sistema fotovoltaico é enterrada, contudo, devido a restrições de penetração da cobertura final em aterros, pode ser necessário que a fiação seja disposta acima do solo (LOPES, 2017).

2.3. Instalações Solares Fotovoltaicas em lixões

Há diversos benefícios quanto a instalações fotovoltaicas em aterros de RSU: fornecem um reuso para locais que apresentam custos com limpeza ou baixa taxa de desenvolvimento; podem ser instalados em locais com espaço limitado; comumente estão localizadas nas proximidades de estradas e infraestruturas de transmissão e distribuição de energia; as áreas de geração de energia fotovoltaica podem ser classificadas como zonas de energia renovável; podem proporcionar oportunidades de emprego; fornecem tecnologias rentáveis e limpas, e, reduzem os impactos ambientais. Além disso, geralmente estão

localizados próximos a locais com alta demanda de energia, o custo da terra é menor e podem receber projetos maiores e o usarem como um sistema de compensação energética (LOPES, 2017).

Todavia, também pode haver desvantagens, como restrições na legislação, recalques, limites de carga, restrições da cobertura final, topografia e declividade. Primeiramente, o local e as características do aterro devem ser avaliados, buscando uma tecnologia fotovoltaica compatível com as características observadas. Assim sendo, a instalação de painéis solares pode ser realizada em aterros encerrados ou em operação, tanto no topo quanto no talude do aterro sanitário (LOPES, 2017).

Em locais que o peso do sistema solar é uma preocupação, é indicado células solares de filme fino flexíveis, pois pode ser instalada sobre coberturas de geomembrana, que não requerem fundações nem uma estrutura de suporte convencional. Quando espaço aberto for limitado, os painéis, mono ou policristalinos são indicados para a máxima produção de energia. Contudo, a solução final deve ser analisada individualmente durante a análise da viabilidade de instalação (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Lopes (2017), ressalta que, uma sugestão interessante seria o aproveitamento do gás metano do aterro, podendo o sistema operar de forma híbrida, sistema que maximiza o valor econômico de ambos os sistemas de geração de energia citados.

2.4. Perdas do Sistema na Geração de Energia Fotovoltaica

Conforme Lopes (2017), num sistema de produção de energia fotovoltaica as perdas podem ser devido a resistência das conexões, às diferenças entre painéis (células diferentes produzem energia elétrica a uma tensão diferente), perdas no inversor para conversão de corrente contínua em alternada, perdas devido a obstruções como pó nos painéis e perdas devido a temperatura do local.

Contudo, estas perdas seguem um padrão e estão descritos na Tabela 1 a seguir.

Perdas	Percentuais Padrões	Percentual Atribuído
Temperatura	(7% - 18%)	10,5%
Incompatibilidade elétrica	(1% - 2%)	1,5%
Acúmulo de sujeira	(1% - 8%)	2%
Cabeamento CC	(0,5% - 1%)	1%
Cabeamento CA	(0,5% - 1%)	1%
Inversor	(2,5% - 5%)	4%

Tabela 1: Percentuais Perdas Elétricas De Um Sistema Fotovoltaico.

Fonte: Oliveira Júnior e Fernandes (2018).

Como visto, diversos fatores influenciam a perda de geração de energia fotovoltaica. Contudo, dentre eles destaca-se o sombreamento, que afeta o rendimento do sistema. Por isso, os painéis devem ser posicionados em locais livres de qualquer obstrução da incidência solar, como montanhas, postes de luz ou a proximidade com altas edificações. Além disso, outro fator que acarreta perdas é a sujeira nos painéis solares, pois eles tendem a acumular sujeira, devendo haver uma manutenção periódica para a melhorara do desempenho (RÜTHER, 2004).

2.5. Viabilidade econômica

A tomada de decisões financeiras é uma atitude recorrente para empresas e pessoas. Assim, a decisão de investir deve ser a etapa final de uma série de estudos que permitem a racionalização dos recursos financeiros (PERONDI, 2019).

Para analisar a viabilidade econômica de um investimento, diferentes métodos de avaliação devem ser realizados para determinar a atratividade deste investimento e compará-lo com os demais investimentos de mesmo risco disponíveis. Desta forma, a viabilidade econômica dos projetos de sistemas fotovoltaicos deve ser analisada individualmente para cada caso (DO VALE, 2018).

Assim sendo, a viabilidade da instalação dos painéis fotovoltaicos na área de um aterro sanitário depende principalmente de características do aterro, tais como os sistemas existentes de engenharia, as características da cobertura, a declividade e estabilidade, a composição dos resíduos, os recalques, o controle de erosão e a cobertura vegetal (LOPES, 2017).

Além disso, a viabilidade econômica analisa os gastos com materiais e com a instalação e os compara com o potencial de energia que pode ser gerada. Desta forma, é analisado o consumo energético do local, as características do local como dados de irradiação solar e temperatura, o espaço disponível e a sua orientação solar, as características do mercado como preço dos materiais utilizados e a tarifa cobrada pela concessionária do local energia (MALAMUT, 2017).

Dado estes fatos, são necessários a projeção de receitas e custos, a estimativa de despesas, os investimentos necessários. Assim, a projeção de receitas visa identificar a capacidade de gerar receita para o investidor. Por vez, o fluxo de caixa reflete a dinâmica do recurso financeiro, que é um instrumento essencial para a gestão financeira de uma companhia, sendo determinado pela diferença entre as projeções das despesas e receitas. Após as estimativas dos custos, receitas, investimentos, despesas, resultados de projeções e análise de viabilidade econômica, são analisados os indicadores (DO VALE, 2018).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Dimensionamento Fotovoltaico

Uma análise foi feita para verificar a possibilidade do aproveitamento da área do lixão através da instalação de projetos para geração de eletricidade a partir da energia solar. Foi avaliado o potencial de produção de energia pelo sistema solar fotovoltaico a ser instalado no lixão (Figura 1) e considerado que sua instalação ocorra dez anos após o encerramento do lixão, pois os recalques tendem a ter atingido estabilidade.



Figura 1: Localização do antigo lixão de Sinop – MT.
Fonte: Google Earth (2022).

Para dimensionamento do sistema fotovoltaico, os seguintes passos foram seguidos: parecer das características da localidade da instalação do sistema, do projeto, seleção do módulo fotovoltaico, determinação da potência, seleção do inversor e avaliação da energia a ser gerada.

Além disso, o fator de utilização da área no terreno foi verificado, sendo dado pela razão da área do módulo e a da superfície necessária para sua instalação.

Foi usado softwares específicos da área, bem como, PVSOL e MeteoSyn para fazer o dimensionamento das placas, e meteo para conseguir calcular a incidência da região de Sinop.

3.2. Níveis de irradiação solar

Foi realizado um estudo da região de interesse levando em consideração as variáveis para um melhor aproveitamento da irradiação solar. Para que o maior potencial de irradiação seja atingido, é necessário que o sistema esteja voltado para a Linha do Equador, ou seja, para o norte geográfico em países do hemisfério sul e inclinado conforme a latitude local (RÜTHER, 2004).

Para determinar o nível de irradiação solar foi utilizado o software Metosyn. De posse desses dados e com informações sobre as perdas do sistema de geração fotovoltaica e potência nominal, é efetuado o dimensionamento do sistema. Assim, foi determinado o número de placas e a potência do kit (conjunto de placas).

3.3. Escolha do Modelo das Placas e Inversores

No estudo energético em questão, foi utilizado a placa fotovoltaica “JÁ SOLAR” cuja potência máxima segundo fabricante é de 550W. Esta escolha seguiu instruções de empresas atuantes no mercado, que utilizam e aprovam esse modelo. Essa placa possui medidas de 2,10 m de comprimento por 1,05 m de largura, ocupando uma área aproximada de 2,205 m² por placa. Logo, quando encontrado o número de placas do sistema, obtêm-se a área necessária para implantação multiplicando a quantidade pela área ocupada de cada placa.

O inversor é um componente essencial ao sistema fotovoltaico é o inversor, por ele ser um dispositivo eletrônico e realizar a conversão de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), precisa ser um componente com uma excelente qualidade, alta eficiência, um bom tempo de garantia e assistência técnica nacional fornecida pelo fabricante. Por apresentar essas características e ter todas as especificações exigidas pelo edital 217/2017, foi adota o uso

dos inversores da marca Fronius, dois deles do modelo Tauro 100.0-3-S, os quais são trifásico e operam nas tensões de 380V. O produto pode ser visualizado na Figura 2.



Figura 2: Fronius Tauro 100.0-3-S.
Fonte: FRONIUS.

3.4. Perdas do Sistema de Geração e Número de Placas

Neste trabalho, o valor concedido para a eficiência energética considerou as perdas do sistema de maneira estimativa. Logo, foi considerado um valor de 80% de eficiência para o sistema fotovoltaico, considerando os percentuais de perdas atribuídos pela Tabela 1 que somam 20%.

3.5. Orçamento Preliminar

Com o apoio da plataforma do PVSOL, que fornece soluções para implementação de sistemas de energia fotovoltaica, foi realizado um orçamento preliminar a partir de dados do dimensionamento do sistema, como a potência, tipo de estrutura, tensão e fases do sistema. Além disso, informações sobre módulos e inversores serão providas de pesquisa de preços em empresas atuantes no mercado local.

Desta forma, foi realizada a quantificação de insumos e levantamento dos custos diretos da compra e instalação do sistema. Assim sendo, a partir dos orçamentos de instalação, manutenção e operação, serão realizadas projeções de geração de energia fotovoltaica.

3.6. Viabilidade Econômica da Implantação do Sistema Fotovoltaico

Com os dados dos índices solarimétricos mensais no plano inclinado de acordo com o maior ângulo de inclinação e considerando inicialmente o sistema com uma autonomia de 97%, foi estimada uma geração mensal. Caso, a média de geração mensal seja maior ou igual a média que se deseja implantar, tem-se um sistema com autossuficiência de 97%.

Considerando o custo de disponibilidade e adotando um reajuste tarifário anual de 5% conforme dados da ANEEL, foi determinado o tempo de retorno do investimento. Além disso, também serão considerados os custos de manutenção para o empreendimento se baseando em valores de mercado (Equação 1).

$$\text{Saldo Acumulado} = \text{Economia Gerada} - \text{Investimento} - \text{Manutenção} - \text{Disponibilidade} \quad (\text{Eq. 1})$$

Neste sentido, o *payback* de um projeto de uma usina fotovoltaica é estimado levando em o tempo de retorno do investimento. Assim, as projeções para os próximos 25 anos serão estimadas, visto que essa é a vida útil média estimada para os módulos

fotovoltaicos. Desta forma, para determinar o tempo de retorno do investimento, foi empregada a Equação 2.

$$Tempo = \frac{Saldo\ Negativo}{(Consumo\ Médio * Tarifa)} \quad (Eq. 2)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Diagnóstico local

Segundo o mapeamento da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), em 2020 Mato Grosso ultrapassou a marca de 200 megawatts (MW) operacionais em geração distribuída a partir da fonte solar. Desta forma, o estado ocupou a quarta posição no ranking estadual da geração distribuída solar fotovoltaica no Brasil, atrás apenas de Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul.

Atualmente, o estado possui 12.344 sistemas de geração de energia solar em operação nas residências, comércios, indústrias, propriedades rurais e prédios públicos. Eles abastecem 12.581 consumidores, espalhados por 134 municípios. Com isso, 95% dos municípios mato-grossenses já possuem pelo menos um sistema solar fotovoltaico em funcionamento.

De acordo com a ABSOLAR, a geração distribuída solar do Mato Grosso representa uma parcela de 5,9% da potência instalada total da modalidade no Brasil. Um dos destaques no Mato Grosso é o município de Cuiabá. Sozinho ele é responsável por 32,7 MW operacionais e ocupa a quarta posição no ranking municipal de geração distribuída solar fotovoltaica, dentre todos os municípios do País.

A região é estratégica no País para a fonte solar fotovoltaica, devido ao estado do Mato Grosso possuir um grande potencial para a energia solar. Com a atual presença da fonte na geração distribuída e com seu forte potencial para investimentos em projetos de médio e grande porte, a energia solar contribuirá cada vez mais para o desenvolvimento sustentável e econômico da região.

Em 2019 o estado do Mato Grosso registrou uma geração de energia elétrica de 26.772 MW. Por outro lado, o consumo registrado foi de 9.458 GWh, como pode ser observado na Figura 3.

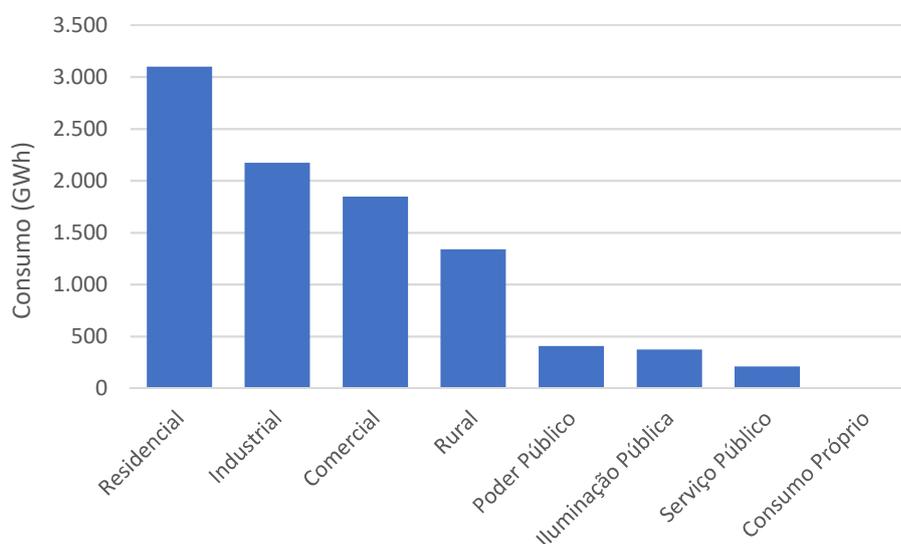


Figura 3: Consumo de energia elétrica no MT em 2019 (GWh).
Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020: ano base 2019 (2020).

A Agência Nacional de Energia Elétrica aponta que Sinop é o 4º maior município gerador de energia solar fotovoltaica do Estado. São 1,3 mil unidades de consumo de geração distribuída, com potência de 18,4 mil quilowatts. De 2019 ao ano passado, o município cresceu 43% na geração de energia solar, com aumento de 150 unidades de consumo.

O município de Sinop possui uma usina geradora de energia hidrelétrica, com uma potência de 6.000 kW instalados. É nítido a expansão do setor de produção de energia no município, como se pode observar pelo aumento de 55% na produção de energia na UHE Sinop, onde em março deste ano, alcançou valores de produção na ordem de 226 GWh de energia.

O antigo lixão de Sinop operou até dezembro de 2016, após 27 anos de contaminação ambiental. O lixão desativado possui uma área de 70 hectares, na qual foi definida uma porção para implantação do projeto da usina fotovoltaica de 30% desta área e se viável, que corresponde a 210.000 m² (300 x 700 m), permanecendo o restante como área de expansão futura ou de reserva técnica. Outra finalidade desta área de reserva técnica é a estocagem de material terroso excedente dos serviços de terraplanagem e a de empréstimo de material terroso, se necessário, para implantação de etapas posteriores ou para operação do empreendimento.

Considerou-se também uma distância de segurança de três metros no perímetro a ser mantida no aterro para possibilitar, por exemplo, atividades de manutenção e limpeza. Descontando-se essas áreas de segurança, chegou-se à área final de 204.000 m².

4.2. O antigo lixão de Sinop

O antigo lixão de Sinop operou até dezembro de 2016, após 27 anos de contaminação ambiental. Composto por uma área de 70 hectares, o aterro foi instalado próxima a atual comunidade Fátima, na época visando instalar o aterro municipal.

De acordo com um site de notícias local, nos últimos 6 anos de operação, quatro ações judiciais foram movidas, onde o lixão foi fechado e reaberto diversas vezes até a definitiva suspensão em novembro de 2016. Além disso, em 2017 a secretaria de Obras do município de Sinop, responsável pela gestão do lixão, bloqueou os principais acessos.

Ao longo destes anos, a vegetação foi se regenerando, onde atualmente uma vegetação de médio porte cobre quase toda a área do antigo lixão. A planta mais encontrada no local é a mamona, mas também há frutíferas e trepadeiras, como o mamoeiro e a bucha natural.

Devido a decomposição, movimentação de terra e crescimento da vegetação, muito pouco RSU permaneceu exposto. Contudo, sucatas metálicas, embalagens de vidro e entulhos de construção e demolição ainda podem ser facilmente encontrados.

Além disso, foi verificado a existência de gás metano próximo às valas principais, provenientes de grandes bolsões no subsolo que representam um risco eminente. Atualmente, bem sendo debatido a recuperação ambiental da área, a qual foi uma das muitas determinações impostas pela justiça que vem sendo tratado em conjunto com a Secretaria de Obras do município.

4.3. Níveis de irradiação solar

Irradiação solar pode ser definido como a potência do sol em uma determinada localidade. Considerando que o antigo lixão de Sinop está localizado nas coordenadas 12°22'3.87"S e 55°31'47.03"O, os dados de irradiação obtidos para o ano de 2020 podem ser observados na Tabela 2.

Como apontado na literatura, é possível observar que os maiores índices de irradiação solar foram registrados quando considerado uma inclinação igual a latitude local, como pode ser observado na quarta linha da Tabela 2.

Irradiação	Anual	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
GHI	4,977	5,085	4,939	4,924	4,799	4,644	4,606	4,873	5,178	5,121	5,289	5,055	5,215
DHI	2,131	2,461	2,533	2,324	1,995	1,675	1,598	1,672	2,061	2,084	2,238	2,422	2,513
DNI	4,065	3,356	3,003	3,340	4,015	4,805	5,260	5,498	4,928	3,978	3,818	3,301	3,481
LAT	5,057	4,758	4,770	4,950	5,054	5,097	5,157	5,397	5,530	5,223	5,155	4,763	4,832
PAR	2,344	2,419	2,345	2,439	2,359	2,235	2,090	2,153	2,213	2,551	2,559	2,412	2,348

Tabela 2: Dados médios de irradiação solar para a localidade em estudo (kWh/m²/dia).
Fonte: INPE (2021).

Onde:

GHI - Irradiação global horizontal

DHI - Irradiação difusa horizontal

DNI - Irradiação direta normal

LAT - Irradiação global na inclinação da latitude local

PAR - Irradiação fotossinteticamente ativa

Através da comparação da irradiação no plano horizontal com a irradiação no plano inclinado, foi possível obter o gráfico da Figura 4, que ilustra que as maiores médias mensais de irradiação solar para o município de Sinop foram obtidas com ângulos de inclinação entre 10° e 15°.

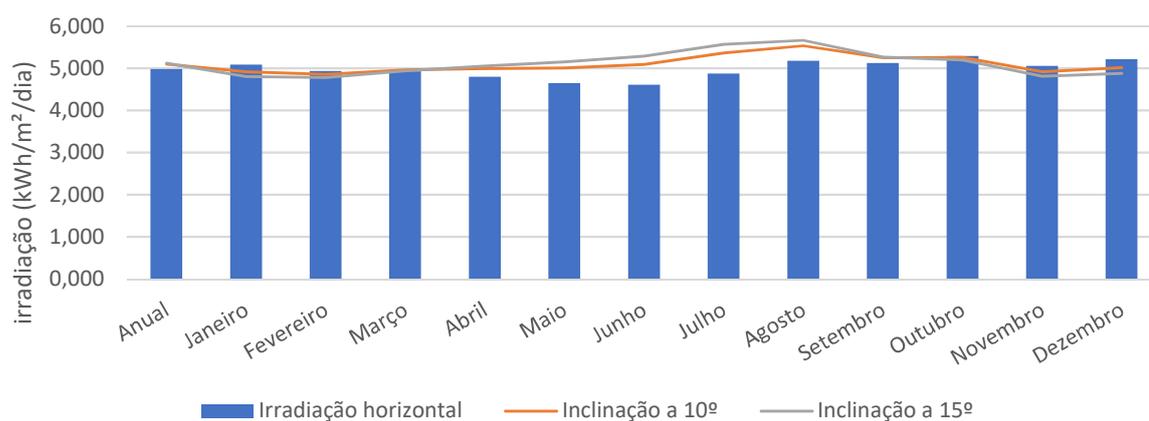


Figura 4: Comparação da irradiação horizontal com inclinada relativa ao azimute norte.
Fonte: Virtux Solar (2021).

4.4. Dimensionamento

Os sistemas FV conectados à rede também são chamados de ligados à linha, conectados aos serviços de utilidade pública ou ligados à rede. Os proprietários de sistemas conectados à rede devolvem a energia necessária para a prestadora do serviço. Isso exige inversores especiais.

Os sistemas conectados à rede são bons nas áreas urbanas, onde a sobrecarga da rede é comum. Os sistemas FV reduzem a pressão sobre a rede e agem como um fornecedor de energia adicional. Eles também fornecem tensão e onda senoidal mais coerentes.

O programa PVSOL, de origem alemã, foi utilizado no auxílio ao dimensionamento do sistema. Trata-se de um programa comercial, utilizado para realização das análises neste trabalho. Nele, é possível realizar as fases de dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede em um único ambiente.

Logo, quando encontrado o número de placas do sistema, obtêm-se a área necessária para implantação multiplicando a quantidade pela área ocupada de cada placa. Após o cálculo de radiação feito, através do software Metosyn ao valor de 1869 kWh/m², foi

dimensionado um sistema de 9080 módulos, com 8 linhas, e 8 colunas, onde cada linha encontra-se com 2 placas na vertical. Após o dimensionamento no PVSOL, foi calculado uma produção de 8.123.423,00 kWh/Ano, e uma produção de 676.951,91 kWh/mês.

As tensões e a amperagem dependem do tipo da tecnologia, do tamanho e do projeto da aplicação. Um grupo de células solares conectadas se chama módulo solar ou painel solar.

4.5. Orçamento Preliminar

Em relação aos custos dos módulos e do inversor, que constituem a maior parte do total de investimentos em um sistema solar fotovoltaico, estes foram baseados considerando o uso de equipamentos importados.

Além dos módulos e inversores, um sistema solar fotovoltaico consiste também nos componentes de balanço do sistema, que incluem as estruturas de suporte, cabos elétricos, equipamentos para controle, proteção e segurança e sistema de monitoramento, além dos custos relativos a projetos de engenharia, licenciamentos e instalação do projeto.

Estes custos dependem das condições específicas de cada instalação, mas o valor adotado como a soma do custo dos módulos e inversores, pode ser observado no Anexo A. Para os custos de operação e manutenção (O&M) do sistema considerou-se que estes seriam iguais a 1% do custo total do investimento. Este foi o valor médio entre os empreendimentos que comercializaram energia solar no 2º Leilão de Energia Reserva que ocorreu em 2015, e é similar aos verificados em leilões já ocorridos para a fonte fotovoltaica (MME/EPE, 2016).

O projeto em questão é classificado no Grupo A de grandes clientes, segundo a NDU02 da ENERGISA- MT (Figura 5).

REFERÊNCIA	CONSUMO	RESERVADO AO FISCO:	DATA DE EMISSÃO	APRESENTAÇÃO	PRÓXIMA LEITURA
Julho/2021	kWh	81b5.ecb5.745e.62ab.31b4.c89e.bd70.f867	02/08/2021	06/08/2021	31/08/2021
CNPJ/CPF:					
Insc. Est.: 13.209.539-4					

CCl	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	TARIFA SEM TRIBUTOS	TARIFA COM TRIBUTOS	VALOR TOTAL (R\$)	BASE CALC ICMS (R\$)	ALIQ. ICMS	ICMS (R\$)	BASE CALC. PIS/COFINS (R\$)	PIS (R\$) (0,9657%)	COFINS (R\$) (4,4479%)
0601	Consumo em kWh - Ponta	369,000	1,830720	2,651360	978,35	978,35	27	264,15	714,19	6,90	31,76
0601	Energia Atv Injetada oUC 7/2021 oPT	369,000	1,830720	2,100420	-775,06	-225,41	27	-60,86	-714,19	-6,90	-31,77
0601	Consumo em kWh - Fora Ponta	19.926,000	0,357910	0,518340	10.328,62	10.328,62	27	2.788,72	7.539,89	72,81	335,36
0601	Energia Atv Injetada - Fora Ponta	12.600,000	0,357910	0,481520	-6.067,32	-4.813,12	27	-1.299,54	-4.767,77	-46,04	-212,06
0601	Energia Atv Injetada oUC 7/2021 mPT	7.326,000	0,357910	0,481520	-3.527,71	-2.798,49	27	-755,59	-2.772,11	-26,77	-123,30
0602	Demanda de Potência Medida - Fora Ponta	82,410	20,460000	29,631520	2.441,93	2.441,93	27	659,32	1.782,60	17,21	79,29
0602	Demanda Potência Não Consumida - F Ponta	47,590	20,460000	21,631010	1.029,42	0,00	0	0,00	1.029,42	9,94	45,79
LANÇAMENTOS E SERVIÇOS											
0807	Contrib de Ilum Pub				284,04	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00

Figura 5: Tabela geral de tarifa ENERGISA/MT.

Fonte: Energisa (2021).

Portanto, foi encontrado uma tarifa a R\$ 0,51 e uma demanda contratada de R\$ 29,63, onde o injetado na rede será de 676,51,91 kWh/m, totalizando R\$324.920,00. Com a soma da potência dos inversores de 4500 kWp, contratando uma demanda de 4500 Kw a R\$ 29,63 totaliza R\$ 133.335,00.

Os inversores, por vez, consomem 2% da energia produzida segundo manual do fabricante (FRONIUS, 2016). Logo, o consumo de 13.538,33 a R\$ 0,53, totaliza R\$6.904,55.

Itens	Quantidade	Tarifa com tributos	Valor Total (R\$)
Consumo FP	13538,33	0,51	6.904,55
Energia injetada	676916,66	0,48	324.920,00
Demanda de Pot	4500	29,63	133.335,00
Saldo			184.680,45

Quadro 1: Dados de produção da usina solar.

Contudo, analisando a viabilidade financeira do projeto, foi levantado todo o custo do investimento necessário.

A empresa AGILIZA, formalizou uma proposta de R\$ 1.700.000,00 para execução de mão de obra, anotação de responsabilidade técnica, homologação junto a concessionária vigente, projeto.

Em contrapartida, a empresa Sices, formalizou proposta de R\$ 16.000.000,00 em materiais, módulos, cabos CA, cabos CC, pluguins MC4, estrutura de aço galvanizado, inversores.

No presente caso, o projeto usando 3,28% da área do lixão, como dimensionado no sistema PVSOL, tem uma potência total de 4500 kW_p, de modo que na concessionária ENERGISA-MT adota-se NORMA DE DISTRIBUIÇÃO UNIFICADA – NDU-007, na legislação vigente. Adota-se por parâmetro técnico a inclusão em grupo A de grandes clientes, onde o consumo fora de ponta encontra-se a R\$0,5183, e uma demanda contratada de R\$29,26. Para isso, utilizou-se típica rede de distribuição com tensão de 13,8 kV, que atende a demanda de 4,5MW do projeto dimensionado.

4.6. Viabilidade Econômica da Implantação do Sistema Fotovoltaico

Para as análises realizadas para o sistema, foram considerados inicialmente, dados conforme os mesmos patamares dos dias atuais, como preços dos equipamentos do sistema fotovoltaico, carga de impostos, taxas e contribuições, cotações de moedas estrangeiras.

Somando o valor do material, R\$16.000.000,00 e o valor de mão de obra, R\$1.700.000,00, o investimento para o sistema proposto seria de R\$18.700.000,00.

Havia em tramitação no Brasil um Projeto de Lei (PL 8322/2014), embora arquivado em 2016, que propunha a isenção de impostos para equipamentos e componentes de geração de energia solar. A proposta original deste projeto de lei seria apenas a isenção de imposto sobre importação para alguns equipamentos, como os painéis fotovoltaicos, mas uma alteração foi proposta de modo a isentar outros componentes do Imposto sobre Produtos Industrializados – IPI (os módulos já são isentos deste imposto), além da possibilidade de isenção de PIS e Cofins (OLIVEIRA, 2016).

A produção da usina, totalizou R\$181.100,00 mensal, conforme Anexo D. Multiplicando este valor por 12 meses, encontrou-se um montante de R\$2.173.200,00. Logo o valor total da obra dividido pela produção anual da usina solar, resultou um *payback* de 8,6 anos.

Desconsiderando o reajuste monetário através dos anos, o cálculo do *payback* mostrou que em 8,6 anos o investimento inicial seria reconstituído pelo investidor, e próximos 17 anos seriam apenas de "lucro", estimando que a vida útil do painel seriam os 25 anos previstos.

Uma análise completa das variáveis que fundamentam o investimento a longo prazo da usina fotovoltaica, demonstra-se necessária para acompanhar o retorno financeiro do recurso aplicado. Além disso, a elaboração do projeto da usina fotovoltaica tem o propósito de reduzir essa despesa fixa dos gastos públicos e os impactos que o presente lixão trouxe a cidade de Sinop e ao meio ambiente.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo analisou o potencial de aproveitamento energético em um aterro sanitário verificando o seu potencial uso para uma instalação solar fotovoltaica, visando a possibilidade de aproveitar a área do aterro após o período de recebimento de resíduos urbanos.

Com a instalação de uma usina fotovoltaica em um antigo lixão, o poder público demonstra com responsabilidade, uma vez que desativando-o, não resolve os problemas ambientais operantes. Com esse projeto, recuperação da área verde, gera renda para novos colaboradores, gera energia limpa e sustentável para região e altera o cenário do poder público municipal em assumir pautas sustentáveis.

O sistema se mostra possível de ser instalado e apresenta viabilidade econômica, com melhores resultados quando se considera a tarifa de energia da distribuidora, levando em consideração do uso do sistema de compensação de energia tendo, por exemplo, os prédios da prefeitura local como unidades consumidoras. Percebe-se que a viabilidade econômica do sistema está relacionada diversos fatores e seria afetada por um deles ou uma combinação, como do preço dos equipamentos tais como os módulos e inversores; preço pago pela energia produzida; carga tributária; e, por ter sido considerada a importação de módulos e inversores, a cotação da moeda estrangeira.

Assim sendo o presente estudo obteve o resultado esperado uma vez que em 8,6 anos consegue recuperar o investimento, contribuindo também de forma efetiva para uma geração de energia mais limpa e menos agressiva ao ambiente.

Em suma, a possibilidade de instalação de um sistema solar traz mais uma oportunidade de uso de um local que poderia vir a ser subutilizado. Portanto, A tendência é que as condições para esta tecnologia se tornem cada vez mais favoráveis. E por meio das análises realizadas, verifica-se que é grande o potencial para aproveitamento da área do aterro para produção de energia a partir de fontes renováveis.

REFERÊNCIAS

AMARAL, A., *et al.* Solar Energy and Distributed Generation: 2015, a Year of Inflection in Brazil? **IEEE Latin America Transactions**, v. 14, 2016.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração distribuída**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao-1/656827?inheritRedirect=false>. Acesso em: 10 nov. 2021.

ARAÚJO, T. **Análise Da Viabilidade Técnico-Econômica Da Implantação De Geração Solar Fotovoltaica Associada Ao Retrofit De Iluminação No Centro De Tecnologia Da UFRN**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.

BRASIL, República Federativa do. **Entenda como a matriz elétrica brasileira está mudando**. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/08/entenda-como-a-matriz-eletrica-brasileira-esta-mudando>. Acesso em: 10 nov. 2021.

DO VALE, B. **Análise Da Viabilidade Econômica De Implantação De Um Estacionamento Solar: Estudo De Caso**. São João del-Rei: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2018.

LOPES, M. **Aproveitamento energético em aterros sanitários: análise da viabilidade técnica e econômica para o uso do biogás e instalação de painéis fotovoltaicos**. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá, 2017.

MALAMUT, R. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico: estudo de caso da revitalização de uma edificação**. Porto Alegre : Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.

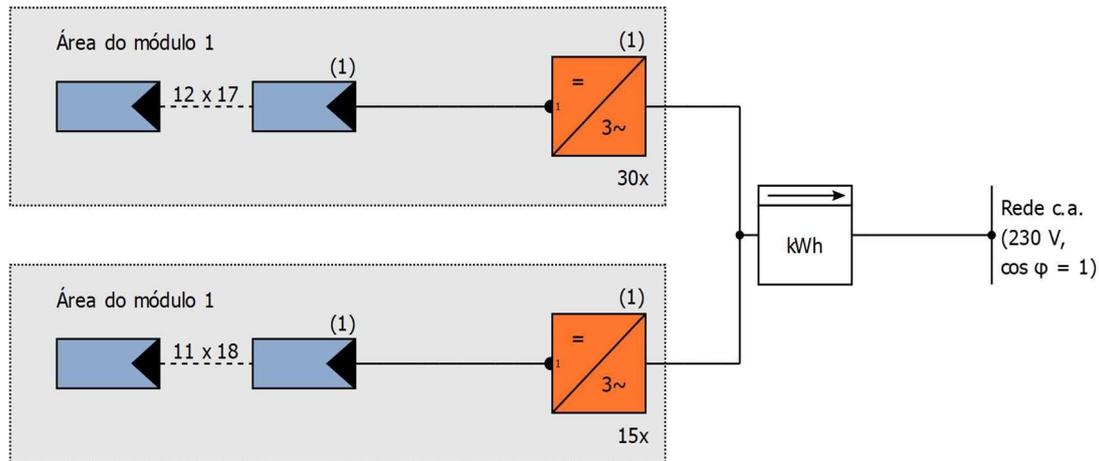
MARTINAZZO, M. **Análise Econômica da Implantação e Utilização de Sistemas de Aproveitamento de Energia Solar e de Águas Pluviais em uma Residência Unifamiliar.** Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, 2014.
 OLIVEIRA JÚNIOR, J de; FERNANDES, A. **Análise da viabilidade econômica da implantação de um sistema fotovoltaico em uma edificação pública na cidade de Jaguaruana-CE.** Mossoró: Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA, 2018.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil.** Florianópolis: Editora UFSC/LABSOLAR, 2004.

VILLALVA, M; GAZOLI, J. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações.** São Paulo: Érica, 2012.

ANEXO A

Vista geral do projeto
Sistema fotovoltaico
 Sistema fv conectado à rede



Dados climáticos	Sinop, BRA (1991 - 2010)	
Potência do gerador fotovoltaico	4999,5	kWp
Area do gerador fotovoltaico	23.492,1	m ²
Quantidade de módulos	9090	
Quantidade de inversores	45	

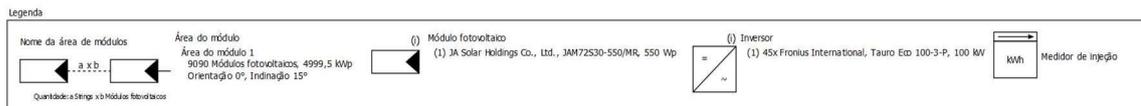


Figura 6: Esquema elétrico.