

XI-096 - ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA EDIFICAÇÃO PÚBLICA NA CIDADE DE JAGUARUANA-CE

Ana Cláudia Araújo Fernandes⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Mestre em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Professora do Magistério Superior da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA/RN).

Joaquim Francisco de Oliveira Júnior⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA/RN).

Endereço⁽¹⁾: Rua Auris Coelho, 970 – Lagoa Nova - Natal - RN - CEP: 59075-050 - Brasil - Cel: (84) 9 9669-7314 - e-mail: anaclaudia.fernandes@ufersa.edu.br

RESUMO

Com a crescente demanda de energia, a preocupação com o meio ambiente e com os recursos não renováveis cada vez mais escassos e caros, a busca pela diversificação da matriz energética tem se intensificado cada vez mais. Assim, surge a ideia de um crescimento mais sustentável, e para isso os sistemas de energia solar fotovoltaica têm se apresentado como uma fonte viável de geração de energia, pois além de ser uma fonte limpa, que produz energia sem degradar o meio ambiente, ela gera economia com o tempo. Dessa forma, o trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade econômica de implantação de um sistema fotovoltaico em uma edificação pública na cidade de Jaguaruana/CE. Logo, é caracterizado como um estudo de caso, onde foram analisadas informações sobre consumo e planta arquitetônica do prédio repassada pela administração local. E em seguida, foi determinada a energia incidente da região de interesse, a partir de coordenadas geográficas encontradas em sites de pesquisa como o Google Maps. Com isso, foi proposto um sistema conectado a rede elétrica da concessionária local para o estudo da viabilidade econômica da aquisição desse projeto, sendo apresentado um passo a passo de como dimensionar um sistema fotovoltaico de acordo com as normas vigentes da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Por fim, com apoio da plataforma SICES e de empresa atuantes no mercado que forneceram dados e quantitativos, pode-se fazer uma análise econômica da implantação desse sistema com respectivo tempo de retorno do investimento (*payback*), em que constatou-se a viabilidade do empreendimento, já que obteve-se uma estimativa de quatro anos para que o investidor recupere todo o capital que investiu e ainda continue economizando nos anos seguintes a vida útil de projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Geração de energia, Energia fotovoltaica, Viabilidade econômica.

INTRODUÇÃO

Ao decorrer dos anos, a ideia da sustentabilidade tem promovido muitas reuniões e conferências, e embora alguns países tenham colocado em primeiro plano os interesses econômicos próprios, tem-se obtido grandes avanços. Isto, porque muitos governos estão considerando a sustentabilidade como um tema central para direcionar o seu desenvolvimento, produzindo leis e incentivos para edificações que sejam projetadas considerando variáveis que as deixem mais sustentáveis (GOULART, 2013) [1]. O desenvolvimento sustentável é difundido, sinteticamente, como sendo aquele que visa promover o atendimento das necessidades do presente sem comprometer a continuidade dos recursos para as gerações futuras. Este pensamento surgiu da preocupação sobre como continuar evoluindo com qualidade sendo que os recursos não renováveis, além de serem prejudiciais, estão cada vez mais escassos.

Coincidente ao cenário de busca por melhorias, as pesquisas e investimentos em tecnologias que prezam a ideia da utilização de recursos naturais renováveis, para a diversificação da matriz energética, têm aumentado. Com isso, a energia solar fotovoltaica tornou-se mais conhecida e ampliou seu mercado econômico e acadêmico (ALMEIDA et al., 2015) [2]. Logo, por não agredir o meio ambiente, essa geração de energia consiste numa considerável alternativa para outras fontes de energia sujas, como as termelétricas, ou de grande impacto ambiental, como as hidrelétricas, cujos reservatórios atingem a população, a fauna e a flora. Concomitante a

degradação do meio ambiente por essas fontes não renováveis, o Brasil vem enfrentando dificuldades na geração elétrica pelas hidrelétricas pela escassez das chuvas e a tarifa de energia elétrica no país está cara e com rotineiros aumentos tarifários devido à necessidade de recorrer às termelétricas (ARAÚJO, 2017) [3].

Ainda segundo Araújo (2017) [3], de acordo com esse panorama e com o aumento da população mundial, que se aglomera cada vez mais nas grandes cidades, ocasiona o aumento da demanda por produtos e serviços, com recursos naturais escassos e caros. Diante disso, o desafio consiste em suprir as necessidades atuais de maneira que não haja prejuízos futuros. Para isso, em relação à energia elétrica, é importante buscar a eficiência energética, ou seja, usar os recursos disponíveis da melhor forma possível, para garantir maior desempenho, com o menor gasto de energia. Como exemplos dessa eficiência, temos aplicações nos transportes, com carros e trens elétricos substituindo veículos movidos a combustíveis fósseis como diesel e gasolina; nas construções inteligentes que aproveitam a luz do sol e a ventilação natural, ou são pensadas para reter calor e diminuir gastos com aquecimento (no caso de lugares frios); bem como em empresas, que almejam ser sustentáveis e competitivas no mercado.

Nessa mesma linha de raciocínio, percebeu-se a necessidade do setor da construção civil absorver os princípios da sustentabilidade e englobá-los em todas as áreas que de alguma forma têm envolvimento no ciclo de vida de uma edificação, de modo a aumentar sua eficiência, no uso de energia, água, materiais, e reduzir o impacto da construção sobre a saúde humana e o ambiente, por intermédio da melhor localização, projeto, construção, operação, manutenção e remoção (MARTINAZZO, 2014) [4]. Assim, com essa perspectiva, foi abordado uma medida de eficiência energética que está cada vez mais em destaque devido aos seus inúmeros benefícios que é a instalação de uma usina fotovoltaica.

Para fins de engenharia, pode-se destacar duas principais formas de aproveitamento de energia solar: a energia térmica, que consiste na obtenção de eletricidade através do aquecimento de fluidos para produção de vapor e posteriormente energia elétrica, e a fotovoltaica, em que há a conversão direta da radiação solar em energia elétrica, utilizando células fotovoltaicas e um material semicondutor (GTES et al., 2014) [5]. Nesse trabalho será abordada apenas a energia fotovoltaica.

Primeiramente, a busca por esta tecnologia se deu pelas empresas do setor de telecomunicação, que procuravam fontes de energia para sistemas isolados em localidades remotas. O segundo estímulo para a energia foi à corrida espacial, pois era o sistema mais barato e adequado para os longos períodos de permanência no espaço. A energia solar também foi usada em satélites. Os painéis fotovoltaicos, responsáveis pela captação e transformação da luz solar em energia, são feitos de materiais semicondutores, com ênfase no silício, o segundo componente mais abundante da terra (GOULART, 2013) [1].

Essa transformação da radiação solar diretamente em eletricidade ocorre devido ao chamado efeito fotovoltaico e é realizada pelos dispositivos fotovoltaicos. Essa conversão ocorre de modo silencioso, sem emissão de gases, sendo desnecessária a assistência de operador para o sistema. É importante ressaltar que somente a componente luminosa da energia solar (fótons) é útil para a conversão fotovoltaica. A componente térmica da energia solar (radiação infravermelha) é utilizada em outros tipos de aplicações, tais como o aquecimento de água ou a geração de energia elétrica através de sistemas termo solares com concentradores (LABEEE, 2010) [6].

Segundo Martinazzo (2014) [4], o sistema fotovoltaico é definido como um conjunto de elementos necessários para realizar a conversão direta da energia solar em energia elétrica, com características adequadas para alimentar aparelhos elétricos e eletrônicos, tais como lâmpadas, televisores, geladeiras e outros. Os sistemas são classificados em isolados, quando não possuem conexão com a rede elétrica pública de fornecimento de energia, e sistemas conectados à rede, que são aqueles efetivamente conectados à rede pública.

O trabalho propõe o sistema conectado à rede, na qual a energia gerada é injetada diretamente na rede. Com isso, essa autogeração de energia elétrica utilizando recurso do sol injeta a energia produzida dentro do sistema da concessionária, onde automaticamente gera-se um bônus para ser consumido (ARAÚJO, 2017) [3]. Isso dá uma redução significativa no consumo, e conseqüentemente, na conta de energia. Em alguns casos, é possível pagar somente a taxa mínima e a tarifa de iluminação pública.

Outra grande vantagem da utilização das placas fotovoltaicas é que elas podem produzir energia (limpa, contribuindo para a sustentabilidade) no local da sua utilização, diminuindo as perdas na rede de distribuição. Sua vida útil é em média 25 anos, possui pouca manutenção e não produz ruídos. Além disso, com a utilização dos módulos fotovoltaicos o proprietário estará valorizando o seu imóvel (FREIRE, 2015) [7].

Em relação às questões técnicas, em geral, para uma operação adequada e eficiente, os módulos devem estar orientados em direção à linha do equador, por questões de maior irradiação. Nas instalações localizadas no hemisfério Sul, como é o caso da região em estudo, a face dos módulos fotovoltaicos deve estar orientada em direção ao Norte Verdadeiro. Do contrário, caso o local de instalação esteja no hemisfério Norte, os módulos fotovoltaicos devem estar orientados com sua face voltada para o Sul Verdadeiro (GTES et al., 2014) [5]. Para este trabalho, que tem por finalidade propor um orçamento preliminar e sua respectiva viabilidade, não foi considerado o fator orientação em relação à localização da edificação, este fator é analisado no projeto executivo.

Dessa forma, este recurso renovável tornou-se extremamente atrativo para os consumidores de energia elétrica porque a tecnologia do sistema barateou, principalmente devido à competitividade no mercado das várias empresas de engenharia do ramo que tiveram de reduzir o preço de venda, instalação e assistência técnica do sistema. Além disso, o retorno financeiro costuma ser em curto prazo (em média cinco anos), quando há superação da economia com a concessionária sobre o investimento inicial (ARAÚJO, 2017) [3].

De acordo com Martinazzo (2014) [4], fica evidente o movimento em prol da sustentabilidade, com o engajamento de muitos países, organizações e mesmo os setores privados. Logo, em setores mais envolvidos na busca de soluções sustentáveis, como o caso da construção civil, tem-se a cada dia novas possibilidades que ganham mais força dentro dos canteiros de obras, com processos, materiais e projetos desenvolvidos com objetivo de minimizar os efeitos possíveis ao meio ambiente, possibilitando o viés sustentável à edificação.

Nessa concepção, o trabalho objetiva propor o desenvolvimento de tecnologias que possam contribuir para a conservação dos recursos naturais e ao mesmo tempo a diversificação das fontes de suprimento energético. Logo, apresenta uma perspectiva de um sistema de energia solar fotovoltaica, com o intuito de mostrar a evolução desta tecnologia; apresentar questões técnicas referentes a este tipo de aproveitamento de energia; e por final propor um estudo sobre a aplicação dessa tecnologia em edificações. Dessa forma, foi realizada a análise da viabilidade econômica da implantação de um projeto de energia solar fotovoltaica em um prédio público na cidade de Jaguaruana, Ceará, visando diminuir parcialmente o seu consumo de energia elétrica convencional.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa é classificada como um estudo de caso, que segundo Gil (2008) [8] é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado. Ou seja, estudo de um caso visando ser aplicado em uma escala maior, analisando evidências para avaliar e propor soluções. Logo, através de visitas técnicas, análise de informações referentes ao projeto arquitetônico e dados relativos à energia consumida, pode-se estudar a viabilidade técnica e econômica de um sistema de microgeração fotovoltaico em um prédio público na cidade de Jaguaruana.

A área de estudo é uma edificação pública, localizada na Praça Adolfo Francisco da Rocha, no centro da cidade de Jaguaruana (CE) (Figura 01) com área construída de 433 m². A caracterização do prédio foi realizada pelo projeto arquitetônico e pelas contas de energia concedidas pela administração local, que nos informou todas as dimensões necessárias e consumo de energia, respectivamente, necessárias para suceder a implantação do projeto.

A princípio, foi realizada uma breve abordagem acerca de todo um contexto histórico sobre sustentabilidade e fontes de energia renováveis. Em seguida, foi realizado um estudo sobre os conceitos de energia fotovoltaica, alavancando toda uma análise dos termos referentes a este sistema que será proposto, identificando os componentes básicos e as questões técnicas acerca da implantação de um sistema de energia solar.

Assim, com o apoio do programa *SunData*, que é uma ferramenta de suporte para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, disponibilizado no site do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito – CRESESB foi determinado a energia incidente da região de interesse. Para isso, foi necessário inserir na plataforma as coordenadas geográficas (latitude e longitude) do local proposto. Dessa forma, é possível calcular a irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional, seja no plano horizontal ou inclinado.



**Figura 01: Sede do Município de Jaguaruana.
(Administração Local de Jaguaruana, 2018) [9].**

Com esses dados calculados e com informações sobre as perdas atribuídas ao sistema de geração fotovoltaica e potência nominal, que é quantidade máxima que um painel pode produzir de energia elétrica em condições específicas e testadas em laboratório, procedeu-se o dimensionamento do sistema. Para isso, foi realizada a estimativa de consumo mensal a partir de relatórios de faturamento gerados pela concessionária, nos quais foram disponibilizadas todas as tarifas sobre as quais a prefeitura tem a responsabilidade de efetuar o pagamento. Para o cálculo do número de placas, considerou-se o consumo da edificação, o rendimento do sistema fotovoltaico, o índice solarimétrico na região e a potência da placa, conforme Equação 01:

$$N^{\circ} = \left\{ \frac{[\text{Consumo}(kWh)/\text{Rendimento}(\%)]}{30} \right\} \cdot \left[\frac{1}{\text{Índice Solarimétrico} \left(\frac{kWh}{m^2 \text{ dia}} \right)} \right] \cdot \left[\frac{1000}{\text{Potência da Placa}(W)} \right]$$

equação (1)

Posteriormente, dimensiona-se a potência do Kit (conjunto de placas) em kWp (quilo-watt pico), que é a unidade de medida empregada para painéis fotovoltaicos, de acordo com a Equação 02:

$$\text{Potência}(kWp) = \left[\frac{\text{Potência da Placa}(W) \cdot N^{\circ} \text{ de Placas}}{1000} \right]$$

equação (2)

Dessa forma, como o trabalho é realizado a partir do projeto de um prédio em específico e o intuito é analisar a viabilidade econômica quando na posição de proprietário, foi proposto o orçamento com base nos preços de mercado.

Assim, com o apoio da plataforma do SICES SOLAR, que atua no mercado de energia solar fotovoltaica fornecendo soluções para implementação destes sistemas, foi realizado um orçamento preliminar a partir de dados obtidos no dimensionamento do sistema, como a potência em kWp, e de informações sobre o tipo de

estrutura, tensão e fases do sistema. Logo, foi realizada a quantificação de insumos e levantamento dos custos diretos que o proprietário terá para compra e instalação dos sistemas.

A partir do orçamento, tanto de instalação quanto de manutenção e operação, foram realizadas as projeções de consumo e a estimativa da economia mensal de energia, a partir da geração mensal do sistema fotovoltaico. Essa geração é calculada com base na Equação 03:

$$\text{Geração Mensal} = \frac{\text{Índice Solarimétrico}(97\%)}{\text{Índice Solarimétrico Adotado}} \times \text{Consumo Médio Reajustado} \quad \text{equação (3)}$$

Para a análise financeira, a economia mensal de energia foi considerada como a receita obtida pelo investimento no respectivo sistema, sendo adotado um reajuste tarifário anual de 5% baseado em valores fixados pela ANEEL [10], pois é um dos mecanismos de atualização do valor da energia paga pelo consumidor de acordo com fórmula prevista no contrato de concessão. Assim, a partir da Equação 04 para cálculo do saldo acumulado, determinou-se o tempo para o retorno do investimento necessário à condição de sustentabilidade (Equação 05):

$$\text{Saldo acumulado} = \text{Economia gerada} - \text{Investimento} - \text{Manutenção} - \text{Disponibilidade} \quad \text{equação (4)}$$

$$\text{Tempo} = \frac{\text{Saldo Negativo}}{(\text{Consumo Médio} \times \text{Tarifa})} \quad \text{equação (5)}$$

Por fim, analisou-se a viabilidade econômica do sistema fotovoltaico para a edificação pública do município de Jaguaruana, a partir dos dados obtidos no dimensionamento, e realizou-se um esboço da disposição de placas solares na cobertura.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico foi apresentado o desenvolvimento da metodologia proposta, com seus respectivos resultados e análises:

ESTIMATIVA DO CONSUMO MENSAL

O faturamento da sede do município está indicado na Tabela 01 a seguir, em que foi feita uma estimativa a partir dos seis primeiros meses de 2018, que foram disponibilizados, em relação ao consumo em quilowatt-hora (kWh), o valor da tarifa para um kWh e o valor total de energia consumida.

Tabela 01: Estimativa do consumo de energia. (Autoria própria, 2018).

Mês	Consumo (kWh)	Preço do kWh	Valor
Janeiro	4420	R\$ 0,74222	R\$ 3.280,61
Fevereiro	5203	R\$ 0,68472	R\$ 3.562,59
Março	5957	R\$ 0,69081	R\$ 4.115,15
Abril	4994	R\$ 0,70721	R\$ 3.531,80
Maior	4372	R\$ 0,69876	R\$ 3.054,97
Junho	5203	R\$ 0,73404	R\$ 3.819,21
Média	5025	R\$ 0,70963	R\$ 3.560,72
Máximo	5957	R\$ 0,74222	R\$ 4.115,15
Mínimo	4372	R\$ 0,68472	R\$ 3.054,97

O custo de disponibilidade é o valor mínimo que uma unidade consumidora paga por mês para a distribuidora de energia pelo fato desta ceder energia elétrica para consumo em seu imóvel. Na cidade de Jaguaruana, tem-se o consumo médio de 5025 kWh, porém como se refere a um sistema trifásico em uma unidade consumidora do

grupo B, de acordo com informações advindas da conta de energia, o consumidor deve pagar uma taxa de 100 kWh no que se refere ao custo de disponibilidade, de acordo com o que está definido na Resolução Normativa 414/2010 da ANEEL, Seção V, artigo 98. Logo, tem-se um consumo disponível para projeto de 4925 kWh (ANEEL, 2010) [10].

COORDENADAS GEOGRÁFICAS

A partir do Google Maps (2018) [11] pela localização da Prefeitura Municipal de Jaguaruana/CE, foram disponibilizadas as coordenadas geográficas do local. Logo, tem-se latitude (Sul) 4° 50' 15.4" e longitude (Oeste) 37° 46' 56.7".

IRRADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE

De acordo com o programa *SunData* foram fornecidos dados de irradiação solar, em kWh/m².dia no plano horizontal correspondentes às diárias médias mensais para os 12 meses do ano, para no mínimo três localidades disponíveis próximas da região de estudo (Figura 02) (CRESESB, 2018) [12].

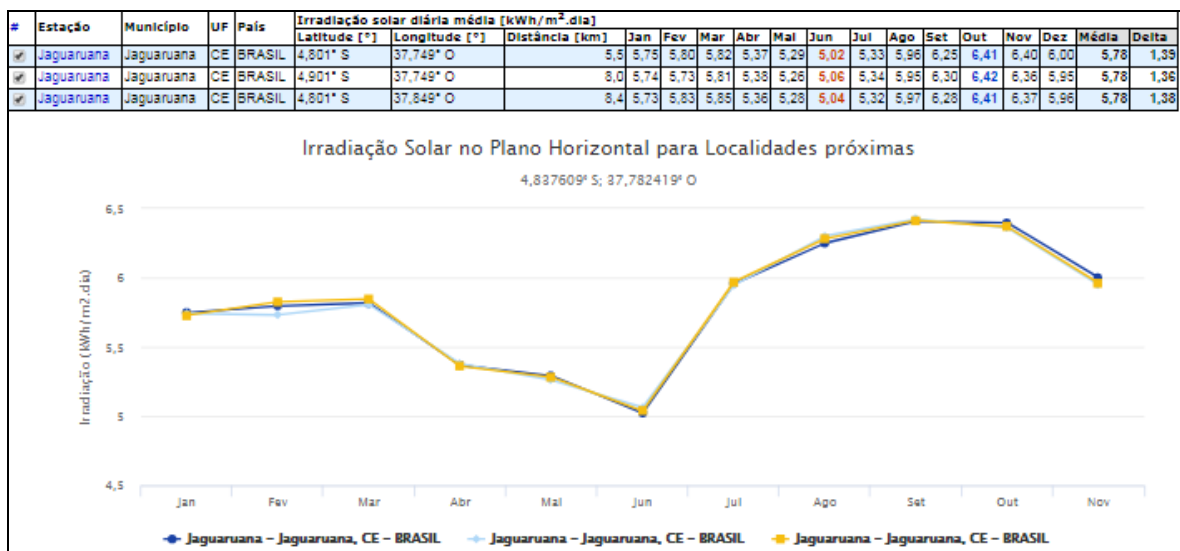


Figura 02: Dados climáticos no plano horizontal da região em estudo. (Programa *SunData*, CRESESB, 2018) [12].

O programa *SunData* também fornece para cada uma das três localidades selecionadas valores de irradiação solar convertidos do plano horizontal para planos inclinados com três diferentes ângulos de inclinação em relação ao plano horizontal: o ângulo igual à latitude, o ângulo que fornece o maior valor médio diário anual de irradiação solar e o ângulo que fornece o maior valor mínimo diário anual de irradiação solar.

Porém, esses valores são sugestões, pois a escolha de uma dessas inclinações depende principalmente dos requisitos do projeto, mas o ideal seria adotar o ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico igual ao da latitude local. Na Figura 03 são mostrados os dados climáticos para a região mais próxima do ponto de interesse, uma vez que os valores obtidos foram aproximados para as três regiões.

Neste caso, será adotado o maior ângulo de inclinação em relação ao norte que é de 9°, indicando que serão utilizados os valores de irradiação do pior caso. Logo, considerando este ângulo de inclinação do módulo, o índice solarimétrico médio da região foi de 5,78 kWh/m².dia. No entanto, por garantia, empresas tem realizado o orçamento adotando um valor um pouco abaixo da média, já que em alguns meses há uma variação de irradiação maior em relação à média. Assim, foi adotado o valor de 5,6 kWh/m².dia.

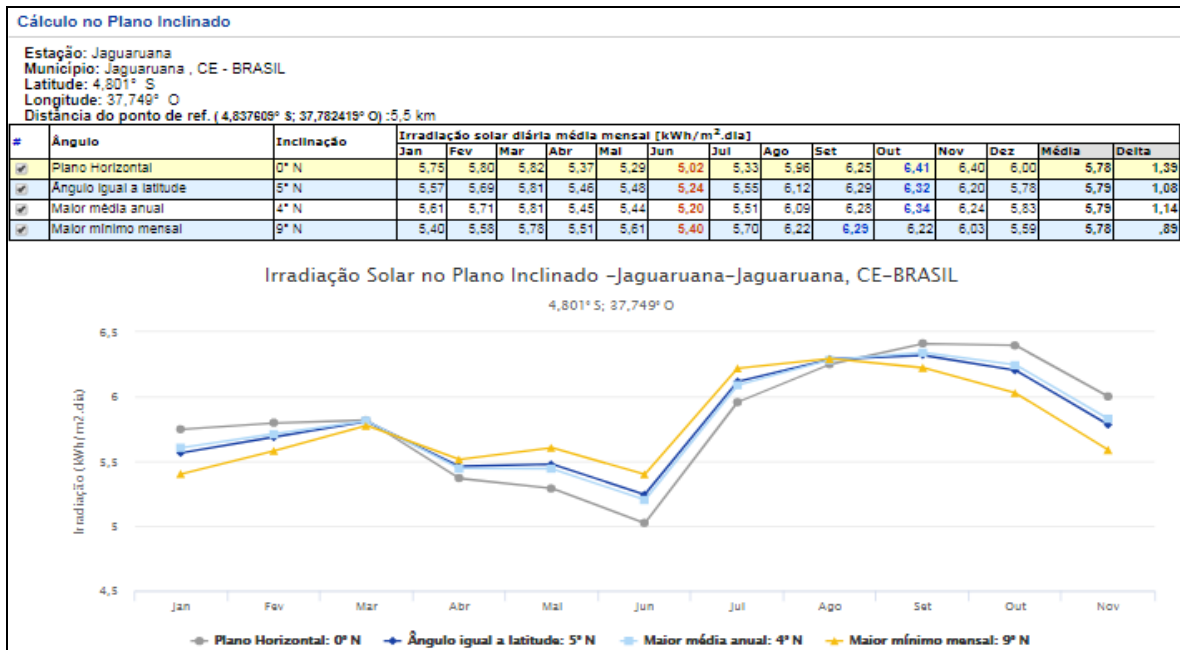


Figura 03: Dados climáticos no plano inclinado da região em estudo. (Programa SunData, CRESESB, 2018) [12].

INCLINAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Para geração máxima de energia ao longo do ano, o ideal é que o ângulo de inclinação do gerador fotovoltaico esteja igual à latitude do local onde o sistema será instalado. No entanto, pequenas variações na inclinação não resultam em mudanças significativas na energia gerada anualmente e a inclinação do gerador fotovoltaico pode estar dentro de 10° em torno da latitude do local.

A princípio, para a instalação dos painéis fotovoltaicos optou-se pela instalação na própria cobertura do prédio da sede do município. Como foi visto na Figura 01, temos que na cobertura foram utilizados dois tipos de materiais: a telha de fibrocimento e a telha cerâmica, ao contrário do que temos indicado nos projetos arquitetônicos que só é representado o material fibrocimento.

No trabalho em questão foi utilizada apenas a parte da cobertura referente às telhas de fibrocimento pelo fato dessas apresentarem menor inclinação em relação às telhas cerâmicas. Sendo assim, a cobertura com telhas de fibrocimento apresentou ângulo de inclinação mais próximo do ideal, que deve variar entre 5° e 15°. Essas inclinações influenciam tanto na questão relacionada à captação da energia solar quanto na manutenção do sistema, uma vez que para áreas muito próximas ao equador, com latitudes variando entre -10° e +10°, aconselha-se uma inclinação mínima de 10°, para favorecer a autolimpeza dos módulos pela ação da água da chuva. Isso indica a conformidade com o estabelecido pelo GTES et al., (2014) [5].

ESTUDO DO ESPAÇO DISPONÍVEL

A disponibilidade de espaço é algo crítico e limitante para os sistemas fotovoltaicos, pois existe a necessidade de áreas elevadas ou sem sombreamento permanente. Neste caso, como a instalação será feita na própria cobertura e não há prédios altos no entorno, não terá áreas sombreadas. De acordo com as plantas baixas de arquitetura da edificação que foram concedidas pela administração de Jaguaruana, tem-se as seguintes dimensões aproximadas (comprimentos e larguras) da cobertura em fibrocimento, resultando numa área de aproximadamente 318 m², conforme a Figura 04.

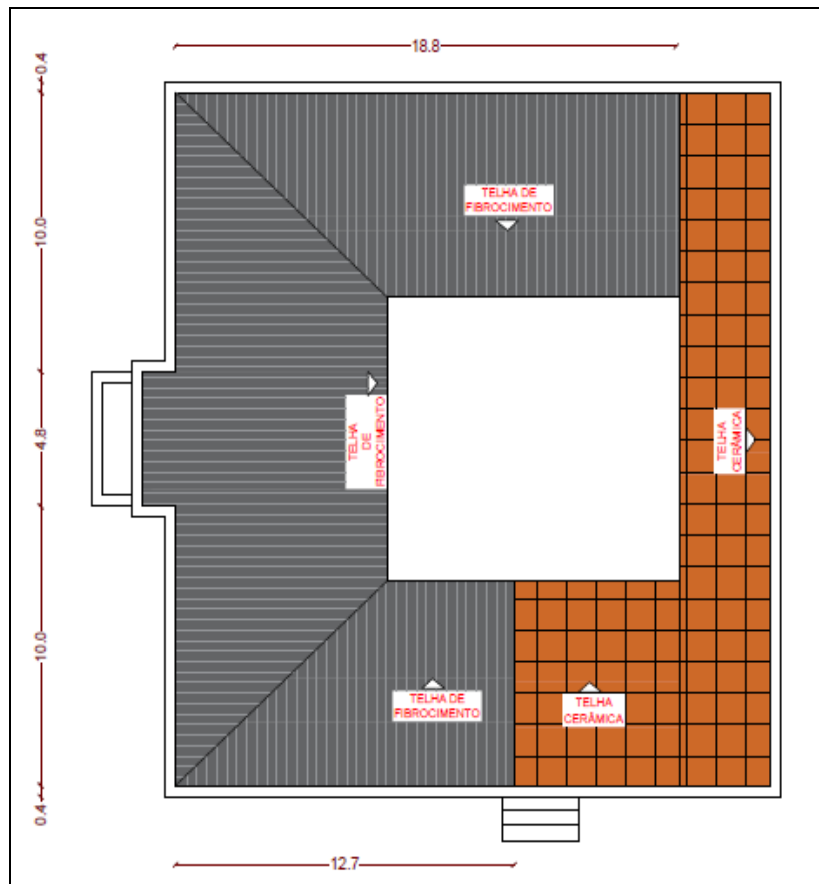


Figura 04: Planta baixa de cobertura.
(Adaptado de Administração Local de Jaguaruana, 2018) [10].

DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO: ESCOLHA DO MODELO DAS PLACAS

No estudo energético em questão, foi utilizado o modelo da placa fotovoltaica “MODULO CANADIAN SOLAR 72CELLS 335W POLY-SI - 1000V”, cuja potência máxima, segundo fabricante, é de 335W. Esta escolha seguiu instruções de empresas atuantes no mercado, que utilizam e aprovam esse modelo. A placa possui medidas de 1,96 m de comprimento por 0,992 m de largura e possui altura de 0,04 m, ocupando uma área aproximada de 2 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.

DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO: PERDAS NO SISTEMA DE GERAÇÃO

Segundo Dienstmann (2009) [14] as perdas de um sistema de produção de energia solar fotovoltaica podem ser resumidas em: Perdas pela resistência das conexões; perdas devido às diferenças entre painéis (células diferentes produzem energia elétrica a uma tensão levemente diferente, o que provoca pequenas perdas de energia quando os painéis são colocados em paralelo); perdas no inversor acoplado ao sistema, para conversão de corrente contínua em corrente alternada; perdas devido a obstruções nos painéis, como pó; perdas pela temperatura da região.

Neste trabalho, o valor concedido para a eficiência energética considerando as perdas do sistema é bastante estimativo, pois necessitaria da aplicação e do real funcionamento do sistema. Em compensação, as perdas mediante aos fatores mencionados, seguem um padrão. Esses padrões são descritos no Quadro 01 a seguir.

**Quadro 01: Percentuais Perdas Elétricas De Um Sistema Fotovoltaico.
(Dienstmann, 2009) [14].**

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%

Logo, será considerado um valor de aproximadamente 80% de eficiência para o sistema fotovoltaico, considerando os percentuais de perdas atribuídos pela tabela que somam 20%.

DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO: CÁLCULO DO NÚMERO DE PLACAS

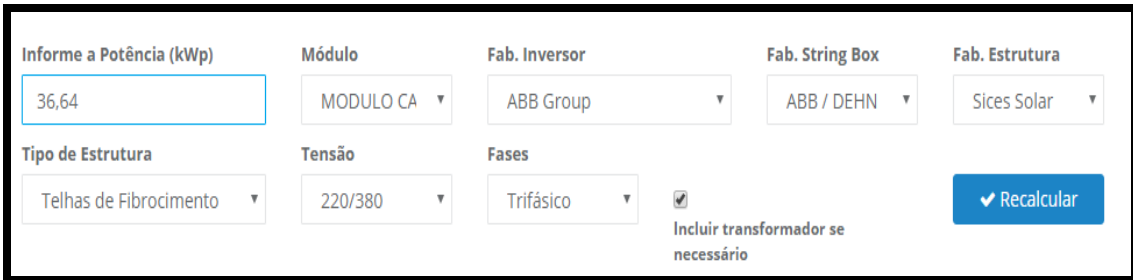
Para o cálculo do número de placas, aplicou-se a Equação 01. Assim, com um consumo médio de 4925 kWh, rendimento de 80%, índice solarimétrico na região em estudo de 5,6 kWh/m².dia e potência da placa de 335 W, obtém-se um valor final de 108,83 placas.

DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO: CÁLCULO DA POTÊNCIA DO KIT EM KWp

Para realizar o orçamento, calcula-se a potência do kit em kWp (quilowatt-pico), pois é preciso entrar com essa unidade no programa SICES [14]. Assim, substituindo os valores já conhecidos anteriormente na Equação 02, obtém-se 36,64 kWp.

DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO: ORÇAMENTO PRELIMINAR

A partir da potência em kWp, e das informações sobre o tipo de estrutura, tensão e fases do sistema em mãos, inseriu-se os dados no programa (Figura 05) para obter o orçamento preliminar. Informações sobre módulos e inversores foram advindas de empresas atuantes no mercado, que utilizam e aprovam as especificações, garantindo qualidade e maior desempenho do empreendimento.



The screenshot shows a software interface with the following fields and values:

- Informe a Potência (kWp): 36,64
- Módulo: MODULO CA
- Fab. Inversor: ABB Group
- Fab. String Box: ABB / DEHN
- Fab. Estrutura: Sices Solar
- Tipo de Estrutura: Telhas de Fibrocimento
- Tensão: 220/380
- Fases: Trifásico
- Incluir transformador se necessário
- Recalcular button

Figura 05: Interface do programa com os dados de entrada necessários. (Autoria própria, 2018).

Logo, quando inseridos os dados, a plataforma SICES [14] recalcula o valor da potência para 36,18 kWp, de acordo com o que este sistema irá gerar de energia a partir de seus componentes básicos, módulos e inversores (Figura 06). Como esse valor é um pouco abaixo da potência calculada, seria possível mudar o inversor e recalcular, observando se o mesmo estaria ou não mais próximo do desejado.

Informe a Potência (kWp) 36,18	Módulo MODULO CA	Fab. Inversor ABB Group	Fab. String Box ABB / DEHN	Fab. Estrutura Sices Solar
Tipo de Estrutura Telhas de Fibrocimento	Tensão 220/380	Fases Trifásico	<input checked="" type="checkbox"/> Incluir transformador se necessário	
				Recalcular

Figura 06: Interface do programa com os dados de saída. (Autoria própria, 2018).

Nesse caso, como a diferença entre as potências calculadas é aceitável, optou-se por apenas ajustar o consumo de acordo com o projeto que foi orçado para aproximar o valor entre elas. Para isso foram reduzidos mais 50 kWh dos 4925 kWh (Tabela 02). Assim, tem-se uma aproximação maior entre o que seria implementado (36,18 kWp) e o calculado a partir do consumo reajustado (36,27 kWp).

Tabela 02: Dados reajustados de acordo com o que será implementado. (Autoria própria, 2018).

Dados de Entrada	Dados de Saída
Consumo Médio (kWh): 4875	Total de Placas: 108
Rendimento (%): 80	Área Ocupada (m ²): 216
Produção da Placa (w): 335	Potência do Kit (kWp): 36,27
Índice Solarimétrico (kWh/m ² .dia): 5,6	

Recalculada a potência (36,18 kWp), o programa também fornece o orçamento com seus devidos quantitativos, de forma que pode variar o preço do serviço de aquisição e instalação de acordo com a empresa para a qual se negociando (Tabela 03). Logo, estes valores são vigentes até o final do mês de setembro ou até o término do estoque dos produtos ofertados, podendo sofrer reajuste na elaboração do projeto executivo.

Tabela 03: Equipamentos e serviços fornecidos. (Autoria própria, 2018).

Código	Descrição	Quantidade
21CAN335020	Módulo <i>canadian</i> solar 72cells 335w poly-si - 1000v	108
22ABB0276380	Inversor ABB TRIO-27.6-TL-OUTD-S2X-400 - trifásico 380V	1
2613SSRR070	Solar perfil alumínio <i>roman rooftop</i> 6,3mt	32
2613SSRR074	Solar perfil alumínio <i>roman rooftop</i> 1,57 mt	12
2613SSJ077	Solar junção para perfil em alumínio - nacional	32
2603SSTF111	Solar terminal final 39..41mm <i>for can</i> - nacional	24
2604SSTI112	Solar terminal intermediário 39..44mm <i>for can/avp</i> - nacional	204
2605SSPCM106	Solar parafuso cabeça martelo m10 28/15	144
2606SSP107	Solar porca m10 inox a2	144
2602AISI097	Solar parafuso estrutural <i>aisi</i> 316m10x250- nacional	144
25MC4I003	Conectores fêmea/ macho <i>weid_cabur_te_mc4_ou</i> compatível	12
2624001	Cabo solar 6mm ate 1800v cc pt abnt nbr 16612	180
2624002	Cabo solar 6mm ate 1800v cc vm abnt nbr 16612	180
2618AWC067	Monitoramento	1
	Projeto, instalação e comissionamento	1
	Total	R\$ 147.542,13



DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO: ESTIMATIVAS DE GERAÇÃO MENSAL

Com os dados dos índices solarimétricos mensais no plano inclinado de acordo com o maior ângulo de inclinação (Figura 03) e considerando o sistema com uma autonomia de 97%, estima-se uma geração mensal em kWh (Tabela 04) de acordo com a Equação 03.

Tabela 04: Estimativa de geração mensal. (Autoria própria, 2018).

Mês	Índ. Solarimétrico (kWh/m ² .dia)	Autonomia (97%)	Geração Mensal (kWh)
Janeiro	5,40	5,24	4560
Fevereiro	5,58	5,41	4712
Março	5,78	5,61	4881
Abril	5,51	5,34	4653
Maio	5,61	5,44	4737
Junho	5,40	5,24	4560
Julho	5,70	5,53	4813
Agosto	6,22	6,03	5252
Setembro	6,29	6,10	5311
Outubro	6,22	6,03	5252
Novembro	6,03	5,85	5092
Dezembro	5,59	5,42	4720
Média	5,78	5,60	4879

O sistema dimensionado possui uma autossuficiência de 97%, pois a média de geração de energia (4879 kWh) considerando essa autonomia, é maior do que a média calculada inicialmente (4875 kWh). A Figura 07 ilustra como se configura essa estimativa para cada mês do ano, bem como a média da geração mensal de energia.

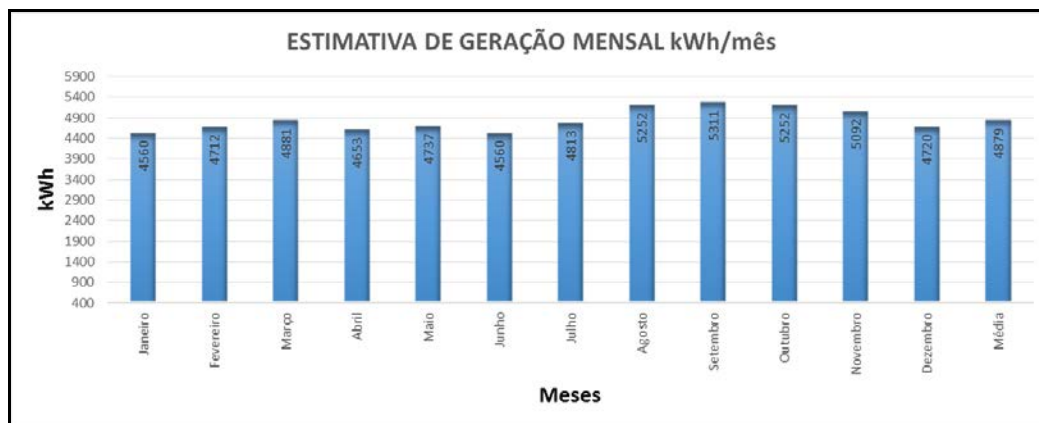


Figura 07: Estimativa de geração mensal. (Autoria própria, 2018).

DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO: VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Considerando o custo de disponibilidade (100 kWh) e adotando um reajuste tarifário anual de 5% conforme dados da ANEEL [10], foram realizados os cálculos para determinar o tempo de retorno do investimento. Além disso, também foram considerados os custos de manutenção para o empreendimento com base no valor de mercado. Assim, o saldo acumulado foi calculado conforme a Equação 04.

Nesse sentido, o *payback* de um projeto de energia solar é estimado levando-se em conta quanto um consumidor de energia deixaria de pagar à sua distribuidora quando passar a gerar a sua própria energia por meio de painéis fotovoltaicos. Assim, estimaram-se as projeções para os próximos 25 anos, visto que essa é a vida útil média estimada para os módulos fotovoltaicos (Tabela 05).

Tabela 05: Configuração do *payback*. (Autoria própria, 2018).

Ano	Energia Gerada [kWh]	Custo de Disponibilidade	Custo do [kWh]	Economia através da Energia Gerada	Custo Manutenção	Investimento	Saldo Acumulado
1	58500	R\$ 880,85	0,73	R\$ 42.941,34		R\$ 147.542,13	-R\$ 105.481,64
2	58500	R\$ 924,89	0,77	R\$ 45.088,41	R\$ 200,00		-R\$ 61.518,12
3	58500	R\$ 971,13	0,81	R\$ 47.342,83	R\$ 200,00		-R\$ 15.346,43
4	58500	R\$ 1.019,69	0,85	R\$ 49.709,97	R\$ 200,00		R\$ 33.143,85
5	58500	R\$ 1.070,68	0,89	R\$ 52.195,47	R\$ 200,00		R\$ 84.068,64
6	58500	R\$ 1.124,21	0,94	R\$ 54.805,24	R\$ 200,00		R\$ 137.549,67
7	58500	R\$ 1.180,42	0,98	R\$ 57.545,50	R\$ 200,00		R\$ 193.714,75
8	58500	R\$ 1.239,44	1,03	R\$ 60.422,78	R\$ 200,00		R\$ 252.698,09
9	58500	R\$ 1.301,41	1,08	R\$ 63.443,92	R\$ 200,00		R\$ 314.640,59
10	58500	R\$ 1.366,48	1,14	R\$ 66.616,11	R\$ 200,00		R\$ 379.690,22
11	58500	R\$ 1.434,81	1,20	R\$ 69.946,92	R\$ 200,00		R\$ 448.002,33
12	58500	R\$ 1.506,55	1,26	R\$ 73.444,26	R\$ 200,00		R\$ 519.740,04
13	58500	R\$ 1.581,88	1,32	R\$ 77.116,48	R\$ 200,00		R\$ 595.074,65
14	58500	R\$ 1.660,97	1,38	R\$ 80.972,30	R\$ 200,00		R\$ 674.185,98
15	58500	R\$ 1.744,02	1,45	R\$ 85.020,92	R\$ 200,00		R\$ 757.262,87
16	58500	R\$ 1.831,22	1,53	R\$ 89.271,96	R\$ 200,00		R\$ 844.503,62
17	58500	R\$ 1.922,78	1,60	R\$ 93.735,56	R\$ 200,00		R\$ 936.116,39
18	58500	R\$ 2.018,92	1,68	R\$ 98.422,34	R\$ 200,00		R\$ 1.032.319,81
19	58500	R\$ 2.119,87	1,77	R\$ 103.343,45	R\$ 200,00		R\$ 1.133.343,40
20	58500	R\$ 2.225,86	1,85	R\$ 108.510,63	R\$ 200,00		R\$ 1.239.428,17
21	58500	R\$ 2.337,15	1,95	R\$ 113.936,16	R\$ 200,00		R\$ 1.350.827,18
22	58500	R\$ 2.454,01	2,05	R\$ 119.632,97	R\$ 200,00		R\$ 1.467.806,13
23	58500	R\$ 2.576,71	2,15	R\$ 125.614,62	R\$ 200,00		R\$ 1.590.644,04
24	58500	R\$ 2.705,55	2,25	R\$ 131.895,35	R\$ 200,00		R\$ 1.719.633,84
25	58500	R\$ 2.840,82	2,37	R\$ 138.490,11	R\$ 200,00		R\$ 1.855.083,13

O dimensionamento do tempo de retorno do investimento foi realizado conforme a equação 5. Dessa forma, a estimativa é que a economia da microgeração seja paga em 3 anos e 4 meses. Assim, no quarto ano o usuário passará a usufruir de um saldo positivo e à medida que a tarifa aumentar, sua economia será ainda maior no decorrer dos anos consecutivos a esse período. A Figura 08 ilustra a configuração do retorno de investimento ou *payback*.

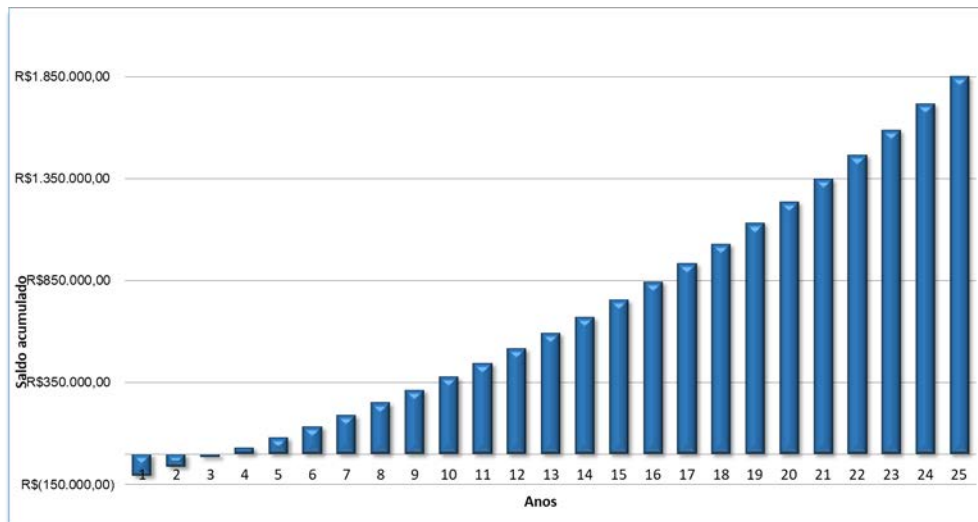


Figura 08: Configuração do payback. (Autoria própria, 2018).

DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO: ESBOÇO DA DISPOSIÇÃO DAS PLACAS FOTOVOLTAICAS

A plataforma SICES SOLAR [14], propõe a disposição dos módulos de acordo com o quantitativo gerado no orçamento (Figura 09).



Figura 09: Interface do programa com a disposição dos módulos. (Autoria própria, 2018).

Assim, de acordo com o quantitativo gerado, será preciso um total de 108 placas para suprir a demanda de energia no prédio e consequentemente um espaço disponível de 216 m² para implantação. Como foi calculado, tem-se que a cobertura de fibrocimento possui área de 318 m², logo irá acomodar todas as placas. Já a disposição dos módulos foi caracterizada de acordo com os espaços disponíveis (comprimentos e larguras) nas três águas que fazem parte da cobertura de fibrocimento, sendo utilizado somente duas águas, logo, o esboço com a disposição das placas foi feito da seguinte forma no programa *AutoCad* (Figura 10).

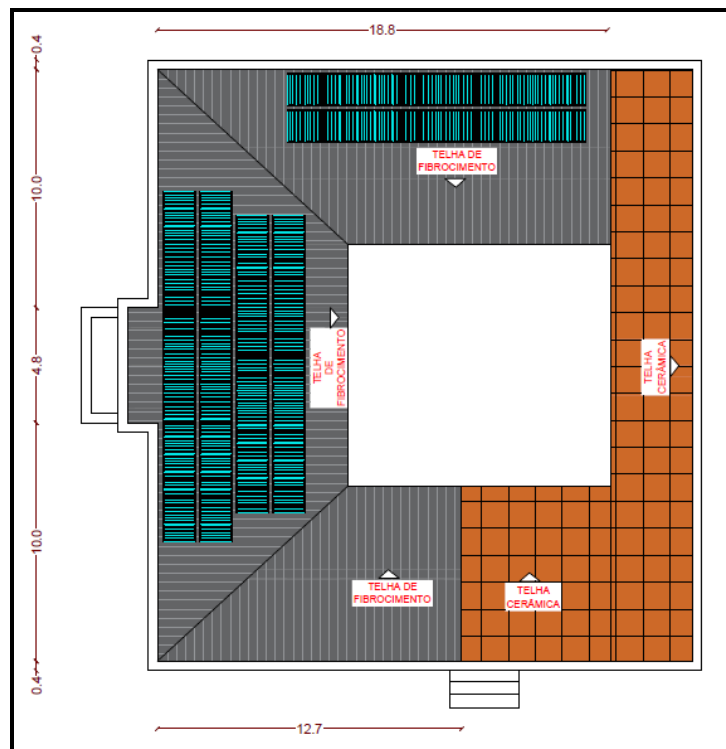


Figura 10: Esboço da disposição das placas fotovoltaicas. (Autoria própria, 2018).

CONCLUSÕES

De acordo com o trabalho apresentado, foi visto que com a crescente demanda de energia, decorrente de fatores como aumento populacional, escassez de fontes não renováveis, altos custos dos combustíveis fósseis, crise hídrica que boa parte do Brasil enfrenta e a preocupação com o meio ambiente, é possível implantar tecnologias sustentáveis como a de um sistema fotovoltaico, que pode contribuir tanto para a diversificação da matriz energética como para a conservação dos recursos naturais. Logo, o investimento nesse setor de geração de energia é uma das soluções que além de suprir a demanda energética necessária para a sociedade e contribuir com a redução dos impactos ambientais, uma vez que se trata de uma energia limpa e renovável, possibilita uma aquisição com bom retorno financeiro.

É sabido que os custos para investimento em sistemas fotovoltaicos ainda são elevados. No entanto, os incentivos em pesquisas voltadas para a geração de energia fotovoltaica têm facilitado os processos construtivos das células e painéis, barateando a sua produção. Além disso, pode-se considerar a tentativa de um financiamento através de bancos públicos e privados, visto que há incentivo para esse tipo de investimento com baixos juros ou com o pagamento da parcela por meio da própria economia obtida na conta de luz.

No projeto realizado foi estabelecida uma estimativa de valores e conseqüentemente, calculado o *payback*, já que se trata de um orçamento preliminar com possibilidade de eventuais mudanças no decorrer do projeto executivo. Entretanto, foi observado que em aproximadamente quatro anos o investimento poderá ser pago e, como os sistemas fotovoltaicos possuem vida útil de 25 anos em média, restam 21 anos para o cliente usufruir do sistema fotovoltaico instalado. Assim, tem-se que a cada dia o tempo de retorno dos investimentos com sistemas fotovoltaicos diminuem, pois o custo, mesmo que de forma lenta, vem diminuindo e os incentivos governamentais para a utilização de energias renováveis estão crescendo, tornando a aquisição dos sistemas fotovoltaicos mais acessíveis para boa parte da população.

Dessa forma, demonstrou-se que o projeto é tecnicamente viável quanto à sua implantação, pois promove tanto soluções sustentáveis quanto econômicas para quem quer adquirir esses tipos de sistemas. Logo, haja vista o grande potencial de irradiação solar em nossa região, a perspectiva de crescimento para a geração de energia fotovoltaica são as melhores possíveis, abrindo um novo mercado para o segmento de projeção e implantação de sistemas fotovoltaicos residenciais, comerciais, industriais e rurais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GOULART, Solange. **Sustentabilidade nas Edificações e no Espaço Urbano**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, UFSC. 2013. Disponível em: <www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/.../ECV5161_Sustentabilidade_apostila_0_0.pdf>. Acesso em: 14 agosto 2018.
2. ALMEIDA, Eliane et al. **Energia Solar Fotovoltaica: Revisão Bibliográfica**. 2015. 13 p. Artigo (Engenharia Bioenergética)- FEA - UNIVERSIDADE FUMEC, Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.
3. ARAÚJO, Tamara Ingrid Marques de. **Análise Da Viabilidade Técnico-Econômica Da Implantação De Geração Solar Fotovoltaica Associada Ao Retrofit De Iluminação No Centro De Tecnologia Da UFRN**. 2017. 59 p. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Graduação em Engenharia Civil. Natal, 2017.
4. MARTINAZZO, Michel. **Análise Econômica da Implantação e Utilização de Sistemas de Aproveitamento de Energia Solar e de Águas Pluviais em uma Residência Unifamiliar**. 2014. 104f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2014.
5. GTES (Grupo de Trabalho de Energia Solar) et al. **Manual De Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos**. 2014. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 15 agosto 2018.
6. LABEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações). **Casa Eficiente: Consumo E Geração De Energia**. v. 2 (76 p.); editores: Roberto Lamberts... [et al.]. – Florianópolis : UFSC, 2010. Disponível em: <www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/.../CasaEficiente_vol_II_WEB.pdf>. Acesso em: 10 agosto 2018.
7. FREIRE, Manuella Ferreira da Silva (2015). **Energia Fotovoltaica: Uma Alternativa De Geração De Energia Elétrica Em Edificações Na Região Metropolitana De Natal/RN**. Trabalho de Conclusão de Curso. Publicação ENC-10-2015, Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 19 páginas.
8. GIL, A. C. **Método e técnicas de pesquisa social**. 6ª. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2008.
9. CEARÁ. **Administração Local de Jaguaruana** – Ceará. 2018.
10. ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 15 agosto 2018.
11. GOOGLE MAPS. [Localização Das Coordenadas Geográficas De Jaguaruana]. [2018]. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/search/Jaguaruana++CE,+sede+do+munic%C3%ADpio+CE/@-4.8394707,-37.7843227,17z/data=!3m1!4b1>>. Acesso em: 14 agosto 2018.
12. CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Potencial Solar**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 15 agosto 2018.
13. DIENSTMANN, Gustavo. **Energia Solar uma comparação de Tecnologias**. Porto Alegre. UFRGS, 2009.
14. SICES SOLAR. Disponível em <<https://plataformasicessolar.com.br/>>. Acesso em 15 de agosto 2018.