



Viabilidade do sistema fotoelétrico para redução de custos com eletricidade

Photoelectric system feasibility to reduce electricity costs

DOI: 10.54021/sesv4n1-013

Recebimento dos originais: 09/05/2023
Aceitação para publicação: 13/06/2023

Jorge Henrique Sales

Doutor em Física Nuclear

Instituição: Universidade Estadual de Santa Cruz – Departamento de Ciências Exatas (DCEX)

Endereço: Campus Soane Nazaré de Andrade, Rodovia Jorge Amado, km 16, Salobrinho, Ilhéus - Bahia, CEP: 45662-900.

E-mail: jhosales@uesc.br

José Ulian Cardoso Almeida

Mestre em Ciência, Inovação e Modelagem de Materiais

Instituição: Universidade Estadual de Santa Cruz – Departamento de Ciências Exatas (DCEX).

Endereço: Campus Soane Nazaré de Andrade, Rodovia Jorge Amado, km 16, Salobrinho, Ilhéus - Bahia, CEP: 45662-900.

E-mail: juca.almeida@live.com

RESUMO

O presente artigo apresenta a viabilidade na utilização de um sistema fotoelétrico isolado para redução de custos com eletricidade no caso de um projeto piloto. Primeiramente foram escolhidos os equipamentos de iluminação e ar-condicionados devido à utilização mais comum. Em seguida foi utilizada a ferramenta CAD com intuito de projetar o pavilhão em 3D para a realização da distribuição do sistema fotoelétrico, a fim de buscar o melhor percentual de rendimento. Posteriormente tem-se a realização do levantamento fotoelétrico para a definição do número de painéis, o modelo e a quantidade de conversores de corrente. Com os resultados obtidos, comparar o investimento feito no sistema fotovoltaico e relacionar com o custo da energia elétrica durante 30 anos, que é período de vida médio dos painéis fotovoltaicos.

Palavras-chave: CAD, painel, economia, sustentabilidade.

ABSTRACT

This article will discuss the feasibility of using an isolated photoelectric system to reduce electricity costs in the in the case of a pilot project. First, lighting and air-conditioning equipment were chosen due to their more common use. Then the CAD tool was used in order to design the pavilion in 3D to carry out the distribution of the photoelectric system, in order to seek the best percentage of yield.



Subsequently, a photoelectric survey is carried out to define the number of panels, the model and the number of current converters. With the results obtained, compare the investment made in the photovoltaic system and relate it to the cost of electricity over 30 years, which is the average lifespan of photovoltaic panels.

Keywords: CAD, panel, economy, sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A energia liberada pelo sol, que chega a Terra, no período de um ano é cerca de 10 mil vezes maior do que aquela consumida em todo o planeta nesse mesmo espaço de tempo. Muitas são as possibilidades de aproveitamento dessa energia, em diferentes formas. E entre essas principais formas de utilização da radiação solar atuais a conversão direta em corrente elétrica vem ganhando destaque. (REQUENA, 2009)

O desenvolvimento tecnológico ocorrido principalmente após a Segunda Guerra proporcionou a abertura de muitas linhas de pesquisa e, em destaque, o desenvolvimento das primeiras células fotovoltaicas feitas de silício. No início, sua utilização foi restrita devido ao elevado custo, tornando inviável o seu aproveitamento. Mas, com o passar dos anos, essa tecnologia foi e ainda é aperfeiçoada a tal ponto que sua utilização já pode ser considerada viável em algumas situações. (RÜTHER, 2004)

Outros atrativos são encontrados na utilização das células fotovoltaicas em resalto a não necessidade de combustível, fácil manuseio e a sua vida útil superior a 30 anos. Esses fatores são importantes estímulos para o emprego de painéis fotovoltaicos em regiões de difícil acesso, podendo ser o único meio de geração de energia elétrica. (BRITO et al, 2006)

Centros urbanos a técnica de instalação dos painéis fotovoltaicos em conjunto com a distribuição elétrica normal é o melhor investimento se comparado com o sistema isolado. A não utilização de baterias evita gastos elevados com manutenção e por isso existe um grande crescimento na utilização desse método.

Em alguns locais existe a possibilidade de que os custos totais gerados pela aquisição de sistemas fotoelétricos sejam mais baratos que os gastos com energia elétrica em longo prazo. Em países como Portugal e Alemanha esse sistema já é utilizado em grande escala devido às tarifas elétricas que são



consideradas elevadas e ao retorno do investimento total pode ser obtido em poucos anos. Mas em outras situações o retorno do investimento pode demorar um período longo ou até mesmo não acontecer. (SHAYANI et al, 2010)

Para Falcão (FALCÃO, 2005), além da possibilidade de reduzir custos energéticos, as células fotovoltaicas são inovadoras, inofensivas à saúde e não produzem poluição. Este quesito é muito discutido atualmente pois, no cenário atual, a busca pelo desenvolvimento sustentável encontra-se em destaque. Assim, a realização de um levantamento fotoelétrico permite buscar a quantidade ideal de painéis solares, sendo que uma alocação adequada pode resultar em eficiência superior a 95% do esperado pelo sistema dependendo da região em que vai ser utilizado.

Desta forma, este estudo propõe a redução de custos utilizando painéis solares fotovoltaicos na região de Ilhéus que apresenta alta incidência solar, comparar os investimentos na implantação do sistema fotoelétrico na iluminação e iluminação em conjunto com a refrigeração com as taxas da concessionária de energia. A ferramenta de desenhos de engenharia CAD foi possível à elaboração de projetos em 3D de um projeto piloto do Pavilhão Professor Júlio Cezar de Mattos Cascardo localizado na Universidade Estadual de Santa Cruz em Ilhéus-BA, a fim de visualizar a melhor distribuição das placas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 EFEITO FOTOELÉTRICO

No momento em que a radiação solar incide sobre a superfície de alguma matéria, em condições adequadas, ocasionam na excitação e liberação de elétrons (YOUNG, FREEDMAN, 2009). Assim, temos o efeito fotoelétrico, formado no momento em que a radiação eletromagnética entra em contato com alguma superfície. Quando essa liberação de elétrons ocorre é possível ordená-los e criar a corrente elétrica.

A intensidade da radiação que incide sobre o material vai definir qual será o número de elétrons que vão ser liberados. Ele ocorre de forma imediata à frequência da radiação eletromagnética que influencia na energia dos elétrons e, para que se inicie o efeito, necessita-se de uma energia de ativação denominada de potência de corte. Essa potência de corte está associada à energia que



mantém os elétrons presos no interior do material e, após ser alcançada, o efeito ocorre. (FERNANDES et al, 2022).

Em um material que recebe radiação eletromagnética em duas intensidades distintas, a frequência de corte não vai ser alterada, mas sim a intensidade do efeito. Por outro lado, quando é alterada a frequência da radiação eletromagnética a frequência de corte também é alterada de forma linear, mas como a intensidade do efeito permanece a mesma. O aproveitamento desse efeito pode ser realizado por painéis fotovoltaicos que geram corrente elétrica.

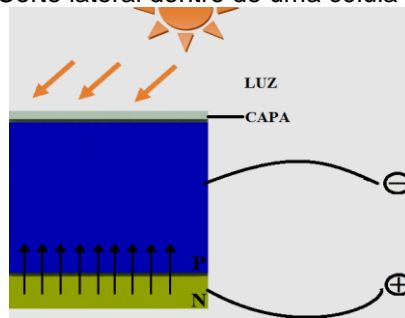
2.2 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Um painel solar fotovoltaico é constituído por várias células solares agrupadas em série, a fim de atingir as melhores condições para o abastecimento elétrico. Uma célula apresenta duas camadas de um mesmo semicondutor, sendo uma camada de caráter negativo e outra de caráter positivo, a fim de gerar diferença de potencial, bem como corrente elétrica.

O material comumente utilizado entre os semicondutores é o silício policristalino com pureza superior a 99,9%. Para atingir alto grau de qualidade é realizada fusão de pequenas partes de silício puro e depois resfriado lentamente até solidificar completamente (FALCÃO, 2005).

As partes constituintes de uma célula fotovoltaica são: a camada *p* que é a combinação de silício com fósforo e a camada *n* que é a placa de silício com boro, tornando uma carregada com cargas negativas e outra com cargas positivas respectivamente (VARELLA, GOMES, 2009). A célula deve ser selada utilizando uma capa de algum material que dificulte a reflexão da luz incidente. A Figura 1, mostra como é formada uma placa de silício convencional e a movimentação dos elétrons que seguem o fluxo da placa *n* para a placa *p* gerando a corrente elétrica.

Figura 1- Corte lateral dentro de uma célula fotovoltaica



Como pode ser observado na Figura 1 acima:

Nesta junção, os elétrons livres do lado “n” passam para o lado “p” onde encontram lacunas que os capturam. Isto faz com que haja um acúmulo de elétrons no lado “p”, tornando-o negativamente carregado e uma redução de elétrons do lado “n”, que o torna eletricamente positivo. Estas cargas aprisionadas dão origem a um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de mais elétrons do lado “n” para o lado “p”. Este processo alcança um equilíbrio quando o campo elétrico forma uma barreira capaz de barrar os elétrons livres remanescentes no lado “n” (CRESESB, 2004 apud VARELA E GOMES, 2009, pág. 7)

Para Varela e Gomes (2009), atualmente podem ser utilizados três tipos de células solares: monocristalinos, policristalinos e filmes finos. O modelo mais utilizado ainda é o policristalino pois, mesmo seu rendimento sendo inferior em relação ao monocristalino, o custo de produção dos painéis é menor.

A interligação entre células é realizada através de minúsculas grades metálicas localizadas nas partes superior e inferior conectando uma a uma para formar o painel fotovoltaico, conforme a Figura 2.

Figura 2 - Painel fotovoltaico constituído por 36 células solares conectadas.



Falcão (2005) descreve que as placas de filmes finos são a grande esperança para a redução de custos na produção de painéis solares. Apesar de



seu rendimento inferior em relação aos monocristalinos e policristalinos, elas necessitam de quantidades menores de matéria-prima, pode utilizar capa de materiais com custo relativamente baixo, fácil manuseio e com boa flexibilidade.

De acordo com SOLARTERRA (2013) pode-se destacar algumas vantagens importantes na utilização desse sistema:

- Não existe necessidade de combustível, apenas incidência solar.
- Não gera contaminação no ambiente em que vai ser utilizado.
- Não produz ruídos, mesmo durante a utilização.
- Resiste a condições climáticas adversas com bastante segurança.
- Sua manutenção é quase que nula para sistemas integrados à rede elétrica convencional.
- Com a simples adição de mais painéis é possível acrescentar potência ao sistema.
- O mais importante é que sua vida útil ultrapassa duas décadas sem queda bruscas de rendimento caso o sistema seja utilizado de forma adequada.

Por apresentar instalação mais simples e com menos componentes (não necessita de baterias, controlador de carga ou gerador) seu custo acaba sendo reduzido podendo gerar retorno financeiro.

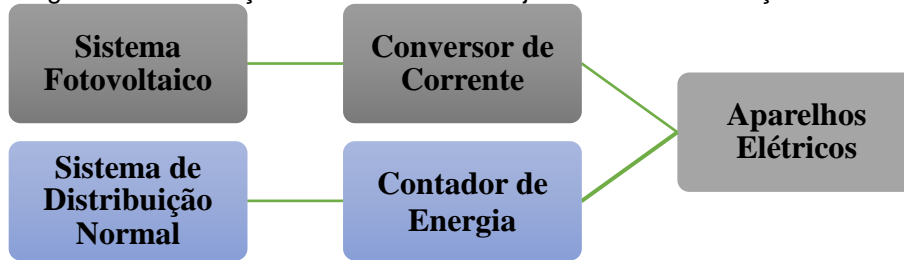
2.3 SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO UTILIZANDO PAINÉIS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA

Em algumas regiões do mundo existem grandes empreendimentos de sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica convencional. Alguns países, entre eles a Alemanha, são pioneiros nessa tecnologia tornando-se referência na produção de energia elétrica gerada a partir da incidência de radiação solar.

Em setembro de 2004 foi inaugurado o maior sistema fotovoltaico do mundo conectado à rede elétrica, com potência de 5 MW pico, composto por 33.500 módulos, situado próximo de Leipzig, na Alemanha, fornecendo energia para 1.800 residências. Já em agosto de 2005 foi iniciada a construção de uma geração ainda maior, com potência de 10 MW pico, na Bavária, também na Alemanha. Este sistema consiste em aproximadamente 62.500 módulos, podendo abastecer cerca de 3.300 residências alemãs (Shayani et al, 2006, pág. 7).

Varella e Gomes (2009) dizem que os componentes necessários à montagem desses sistemas são: os painéis fotovoltaicos e os conversores de corrente contínua em corrente alternada. Os outros componentes necessários fazem parte da rede de distribuição convencional e não necessitam ser adquiridos, como demonstrado pela Figura 3.

Figura 3 - Distribuição fotovoltaica em conjunto com a distribuição normal.



O conversor é fundamental para o sistema de distribuição, pois a energia gerada pelos painéis está na forma de corrente contínua e a energia fornecida pela distribuição normal é em forma de corrente alternada. A utilização dele permite que exista a conversão CC – CA na frequência ideal para que possa abastecer o local pretendido. O processo de conversão gera uma perda de até 10% na potência gerada pelos painéis e essa variável deve ser considerada durante a realização do levantamento. O conversor deve estar de acordo com a tensão gerada pelos painéis fotovoltaicos e nunca pode existir sobrecarga ou qualquer outro imprevisto no sistema de distribuição.

Para tal, um correto dimensionamento é de suma importância, dado que a aquisição de equipamentos inadequados podendo gerar custos desnecessários.

2.4 DIMENSIONAMENTO E INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para identificar a quantidade adequada de painéis a ser utilizado pelo sistema é necessário realizar um dimensionamento para encontrar carga total solicitada. Como isso evita que exista carga demandada superior ou inferior ao que os painéis podem gerar.

SOLARTERRA (2013) indica que para a realização do dimensionamento fotoelétrico considera os passos:



- Calcular a potência demandada no estabelecimento identificando quais os locais e equipamentos que deverá receber a carga fornecida pelos painéis. É muito importante saber qual a potência de cada equipamento e também a carga total necessária para o sistema. Pode-se realizar o levantamento da potência total necessária através do Quadro 1, que facilita a coleta dos dados já registrando as perdas ocorridas pelo conversor. A carga total por aparelho é o resultado da multiplicação da quantidade aparelhos, horas de uso por dia e o consumo energético em Watts.

Quadro 1- Questionário para levantamento de carga demandada.

DEMANDA DE CARGA EM CORRENTE ALTERNADA				
Aparelho	Quant.	Horas de uso por dia	Consumo do aparelho em Watts	Total Wh/dia
Total do consumo em Watts				
Perda de rendimento do conversor 10%				
TOTAL Wh/Dia				

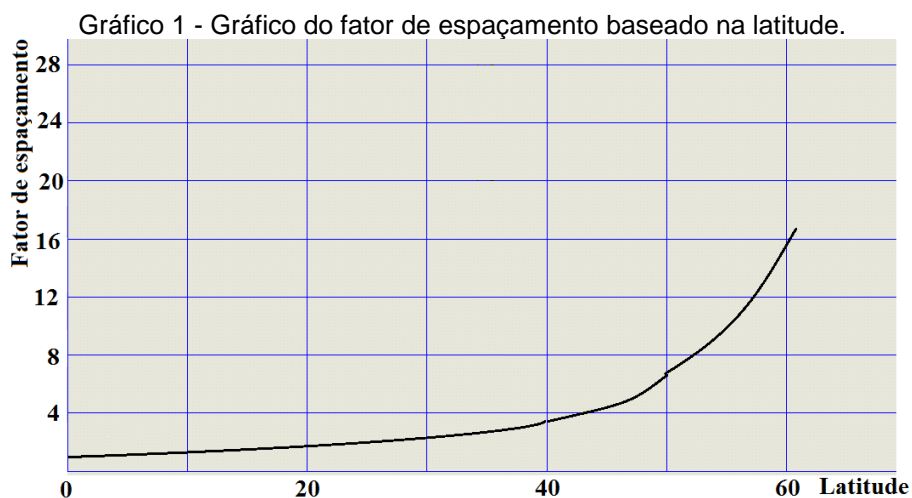
- Identificar a média de irradiação solar da região onde o sistema será instalado. Dessa forma é possível estimar a potência média anual do sistema fotovoltaico em longo prazo. A depender da região pode-se ter período e intensidade de insolação diferente.
- A latitude em que o sistema fotoelétrico vai ser instalado é de grande importância nesse procedimento. Com essa informação é possível identificar o ângulo em que os painéis devem ser instalados para que se adquira o melhor rendimento, de acordo com o Quadro 2. A inclinação deve ser sempre a partir do plano horizontal do local de instalação em direção ao Norte Geográfico para instalações localizadas no Hemisfério Sul. É muito importante diferenciar o Norte Geográfico do Norte Magnético que é o mostrado por uma bússola convencional.



Quadro 2 - Inclinação dos painéis fotovoltaicos em relação ao plano horizontal

LATITUDE	ÂNGULO DE INCLINAÇÃO
0° - 4°	10°
5° - 20°	Latitude + 5°
21° - 45°	Latitude + 10°
46° - 65°	Latitude + 15°
66° - 75°	80°

- Separar os painéis de forma que não ocorra sombreamento entre eles. Esse fato acontecer geralmente no inverno, pois é nesse período que existe uma menor altura solar. Para encontrar o espaçamento ideal deve-se considerar a latitude para encontrar o Fator de Espaçamento de acordo com o Gráfico 1, e a altura dos painéis levando em consideração sua inclinação em relação ao solo. Utilizando a equação (1) pode-se encontrar o Espaçamento Mínimo entre as placas.



$$E_m = F_e \times H \quad (1)$$

Onde:

E_m é espaçamento mínimo; F_e é fator de espaçamento; H é altura do objeto.

- Quantificar o número de painéis a ser utilizados dependendo da potência solicitada pelo sistema levando em consideração o rendimento do inversor. A equação (2) demonstra como encontrar o Número Painéis necessários levando em consideração à Carga Total Demandada, a



Corrente por Painel em ampères e a Tensão Nominal do painel fotovoltaico em corrente contínua (V_{cc}).

$$N_p = \frac{C_t}{C_p \times V_{cc}} \quad (2)$$

sendo que:

N_p é número de painéis; C_t é carga total demandada; C_p é corrente por painel; V_{cc} é tensão em corrente contínua.

- Determinar a potência dos inversores somando toda a carga produzida pelo sistema. Os inversores trabalham com uma Potência de Pico P_p que deve ser superior a toda potência produzida pelo sistema fotovoltaico, de acordo com a equação (3). Essa potência pode ser alcançada nos horários em que existe maior altura solar e os painéis chegam ao seu maior rendimento diário.

$$P_p = \frac{P_s}{T} \quad (3)$$

Com:

P_p é potência KW; P_s é potência produzida pelo sistema fotovoltaico; T é período de utilização diário.

- Deve-se realizar a proteção do sistema fotovoltaico através do aterramento, pois a segurança em instalações elétrica é sempre prioridade. E toda a estrutura deve estar sempre protegida, sendo essa uma das primeiras medidas a serem tomadas durante o projeto.

Com essas etapas é possível dimensionar o sistema fotovoltaico completo e ao mesmo tempo identificar qual o posicionamento adequado para evitar perdas excessivas. Quanto melhor o rendimento, maior será a geração de energia durante período de vida útil do sistema. Dessa forma, a modelagem do sistema torna-se essencial para tal, sendo que o uso de uma ferramenta de desenho pode auxiliar nisso.



2.5 DESENHO DE ENGENHARIA CAD (COMPUTER AIDED DESIGN)

O desenvolvimento das atuais tecnologias trouxe a necessidade de se encurtar o caminho entre o projeto e a execução, sendo o CAD uma ferramenta que permite que desenhos de projetos sejam facilmente compreendidos durante a passagem de uma informação e com alta confiabilidade. A visão de que sua função é o desenho em duas dimensões já é passado e muitas ferramentas possibilitam desenhar em três dimensões. Essa técnica facilita ainda mais a leitura de projetos com maior rapidez e segurança (SOUZA, COELHO, 2003).

Souza e Coelho (2003) observam ainda que existem outras tecnologias dentro da plataforma CAD e que podem ser utilizados para a realização de projetos:

- Desenhar em forma tridimensional com riqueza de detalhes;
- Realizar o estudo da geometria do desenho realizado;
- Possibilita o desenho por peças e também criar um ambiente de montagem completo;
- Utilização de outros softwares para um mesmo desenho desde que se tenha uma interface entre eles.

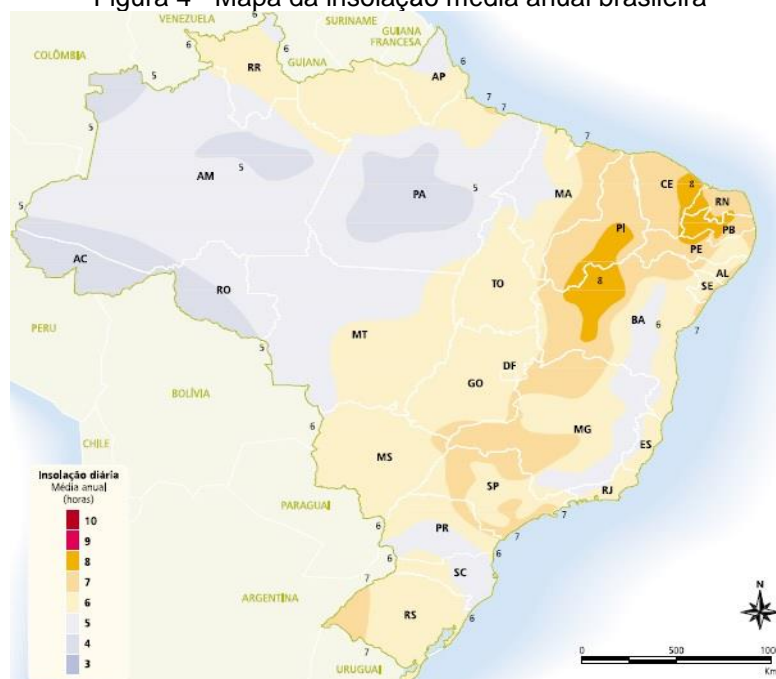
A utilização da ferramenta CAD possibilita a transformação de desenhos em duas dimensões para três dimensões, recurso deste de grande importância na compreensão para o local do projeto, espaço disponível, dimensionamento, posicionamento e custeio total das instalações, além da incidência solar que varia a depender da região.

2.6 INSOLAÇÃO NO BRASIL

O rendimento de sistemas fotovoltaicos está diretamente ligado à incidência solar sobre a região em que vai ser utilizados. O movimento de translação da Terra e a latitude fazem com que o rendimento da potência diária tenha variações durante o ano, sendo que quanto maior a latitude maior será a variação da radiação solar diária. Para realizar o levantamento do potencial energético do sistema fotovoltaico é necessário estimar a média anual de irradiação solar na região em que vai ser instalado. A Figura 4, demonstra o território nacional levando em conta a capacidade energética por região. (ATLAS Solarimétrico do Brasil, 2000)



Figura 4 - Mapa da insolação média anual brasileira



Com o auxílio do mapa é possível perceber que a região nordeste é que apresenta os maiores índices de insolação diária, mostrando-se propícia para a aplicação de painéis solares. Conforme a observação da Figura 4, a região sul da Bahia no entorno da cidade de Ilhéus, tem-se 7 horas de insolação diária.

Apesar de a insolação ser maior na região superior do Brasil, as regiões Sul e Sudeste são aquelas em que se concentram o mercado de energia solar.

2.7 TARIFAÇÃO ENERGÉTICA

De acordo com a ELETROBRÁS (2019), a forma em que é tarifada a energia elétrica é reflexo dos hábitos de cada consumidor levando em conta o seu histórico. Os fatores responsáveis pela diferenciação dos contratos são baseados na energia consumida em caso de pequenos consumidores e para os médios e grandes deve-se considerar também a potência solicitada.

Normalmente, dividem-se em grupos os usuários do sistema. Consumidores de baixa tensão, ou seja, aqueles que utilizam tensões inferiores a 2300 Volts, normalmente entre 127 a 220 Volts, são classificados no Grupo B. A tarifação para esse grupo é descrita como monomial, ou seja, para apenas pelo que consome. Já o Grupo A, é constituído por consumidores de alta demanda energética: sua tensão solicitante supera 2300 Volts também os que são



atendidos por sistema de distribuição subterrâneo. A tarifação é realizada de forma binomial onde paga-se pelo que consome e também pela tensão solicitada, conforme demonstrado no Quadro 3 abaixo.

Para os consumidores de alta tensão, existem formas de tarifação especiais de acordo com suas necessidades energéticas. Eles devem considerar o horário de ponta, aquele referente ao período de 3 horas consecutivas, menos aos sábados, domingos e feriados nacionais e o horário “fora de ponta”, em um período de 21 horas restantes onde as tarifas são mais baratas (ELETROBRÁS, 2019).

Quadro 3 - Divisão dos subgrupos de acordo com a tensão demandada.

CLASSIFICAÇÃO DOS SUBGRUPOS A	
A3a Convencional	30 a 44KV
A4 Convencional	2,3 a 25 KV
Horo-sazonal Azul A1	230KV ou mais
Horo-sazonal Azul A2	88 a 138 KV
Horo-sazonal Azul A3	69KV
Horo-sazonal Azul A3a	30 a 44KV
Horo-sazonal Azul A4	2,3 a 25 KV
Horo-sazonal Verde A3a	30 a 44KV
Horo-sazonal Verde A4	2,3 a 25 KV

Para identificar a que grupo um consumidor pertence é utilizado um histórico de consumo que possibilita calcular a tensão média. A adequação ao subgrupo adequado possibilita ao consumidor pagar apenas pelo seu consumo evitando taxas desnecessárias.

3 METODOLOGIA

O projeto de viabilidade energética é um estudo de caso e para sua realização foram seguidas as etapas: transferência do projeto do Pavilhão Professor Julio Cezar de Mattos Cascardo em duas dimensões para três dimensões, levantamento da capacidade energética do local utilizando painéis solares e o estudo da viabilidade da utilização do sistema fotoelétrico comparando com o fornecimento da rede elétrica convencional.

Os projetos em 2D do pavilhão em destaque foram adquiridos junto a



Prefeitura do Campus - UESC, onde foi possível, utilizando a ferramenta SolidWORKS, visualiza-los de forma unificada. A partir da vista em três dimensões encontra-se a área disponível para a instalação dos painéis e também a melhor forma de alocação do sistema.

Para a realização do levantamento fotoelétrico Solarterra destaca os passos para o dimensionamento e a instalação de painéis fotovoltaicos. Através de pesquisa entre fornecedores da tecnologia para a região pode-se avaliar a capacidade energética do local, a potência adequada dos painéis e informações sobre o produto.

Com esses dados foi possível estimar a potência do sistema completo no período de vida útil do sistema, o valor a ser investido para a aquisição dos equipamentos e o seu rendimento. Durante esse mesmo período de utilização do sistema fotovoltaico, comparar com as tarifas já pagas à concessionária e então sugerir o melhor investimento a ser feito.

4 NÚMEROS DE PAINÉIS

Dois sistemas com maior utilização durante o ano são a iluminação e o sistema de ar-condicionado que são de baixo e alto consumo respectivamente. Para facilitar será analisada separadamente a iluminação e em seguida a iluminação mais os ares-condicionados.

Para estimar a carga necessária da iluminação no sistema elétrico do Pavilhão Professor Júlio Cezar de Mattos Cascardo foi realizada a contagem das lâmpadas utilizadas e também a potência de cada uma delas e seu período de utilização. Dessa forma, encontrou-se a demanda de potência diária de todo esse sistema. As informações coletadas estão distribuídas no Quadro 4:



Quadro 4 - Potência total demandada para a iluminação por dia.

DEMANDA DE CARGA PARA A ILUMINAÇÃO				
Aparelho	Quant.	Horas de uso por dia	Consumo do aparelho em Watts	Total Wh/dia
Lâmpadas de Baixo Consumo	121	7 horas	8 Watts	6.776 Watts
Lâmpadas Incandescentes	8	7 horas	60 Watts	3.360 Watts
Total do consumo em Watts				10.136 Watts
Perda de rendimento do conversor 10%				1013,6 Watts
TOTAL Wh/Dia				11.149,6 Watts

Observando-se o Quadro 4, a iluminação de baixo consumo consome carga semelhante mesmo tendo uma quantidade superior de lâmpada comparada às lâmpadas incandescentes.

A irradiação média na cidade de Ilhéus fica por volta de 7 horas diárias, conforme observado na Figura 4, apresentada pelo ATLAS (2000). Com a demanda diária dada pelo Quadro 4, obtém-se a potência de pico P_p do sistema através da equação (3) resultando

$$P_p = 1,59 \text{ KW} \quad (4)$$

Segundo as empresas fornecedoras de painéis, o melhor painel a ser utilizado na região apresenta potência de pico de 135 Watts e corrente diária de 37,2 Ampères. No Quadro 5, esse rendimento é considerado bom, pois o valor esperado para esse modelo de painel é de 38,15 Ampères por dia, ou seja, uma perda inferior a 2,5% para o um período de 6 horas.

Quadro 5 - Especificação do painel solar KD 135.

ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO	
Modelo	KD 135
Potência Nominal	135 Watts
Corrente por dia	38,15 Ampères
Corrente Nominal	7,63 Ampères
Tensão Nominal	17,60 V
Tensão em Vcc	12 Vcc
Peso	12,5 Kg
Altura	0,668 m
Largura	1,5 m
Espessura	0,046 m



Com a carga total demandada de 11149,6 W e a corrente nominal de 37,2 A para o painel na região, pode-se encontrar o número de painéis N_p através da equação (2):

$$N_p = 25 \text{ Painéis} \quad (5)$$

Onde:

a voltagem do painel é de 12 Volts de corrente contínua.

Considerando agora o sistema de iluminação somado ao de climatização, resulta-se em potências maiores e assim espera-se um número maior de painéis fotovoltaicos. O resultado pode ser a necessidade de um grande número de painéis o que acarreta em gastos maiores. Como não existe padrão de modelo de ar-condicionado utilizado no pavilhão especificamente, selecionar-se-á o que apresenta maior consumo em KWh. Dessa forma pode--se evitar a necessidade de compensação de carga fornecida pela distribuição normal. O levantamento realizado é mostrado no Quadro 6:

Quadro 6 - Potência total demandada do Pavilhão Professor Julio Cascardo.

DEMANDA DE CARGA PARA A ILUMINAÇÃO E A CLIMATIZAÇÃO				
Aparelho	Quant.	Horas de uso por dia	Consumo do aparelho em Watts	Total Wh/dia
Lâmpada de baixo consumo	121	7 horas	8	6.779
Lâmpada Incandescente	8	7 horas	60	3360
Ar-Condicionado de alto consumo	47	7 horas	2.537	834.673
Total do consumo em Watts				844.809
Perda de rendimento do conversor 10%				84.480,9
TOTAL Wh/Dia				929.289,9

Já é possível identificar um aumento acentuado para a demanda de potência em relação ao que é necessário apenas para a iluminação. E, para o próximo passo, encontrar-se o número de painéis N_p para atender esse sistema utilizando novamente a equação (2):

$$N_p = 2082 \text{ Painéis} \quad (6)$$

Percebe-se que o sistema isolado necessita de uma quantidade absurdamente maior de painéis, sistema este mais complexo de instalação e uma maior quantidade de inversores. Nesse caso de acordo com a equação (3), tem-se uma P_p :

$$P_p = 132,76 \text{ KW} \quad (7)$$

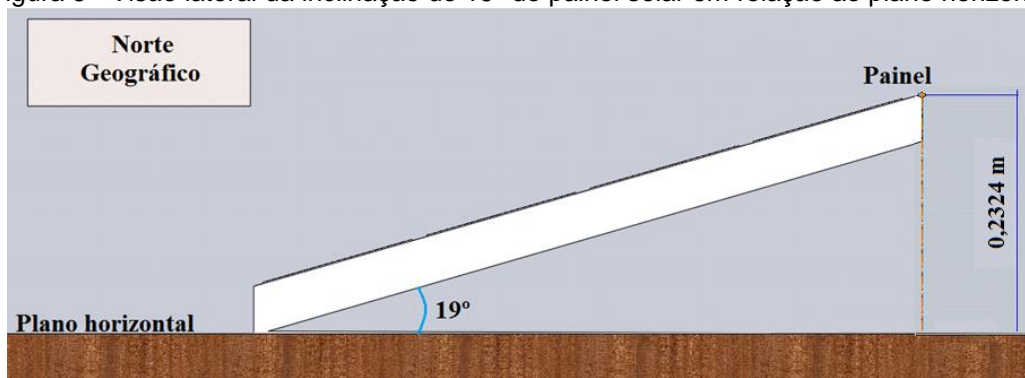
A alta P_p comparada com (4) mostra que o consumo elétrico gerado pelo sistema com climatização vai precisar de altos investimentos, assim como será demonstrado mais a frente.

5 POSICIONAMENTO DO SISTEMA FOTOELÉTRICO

O rendimento do sistema fotoelétrico depende diretamente da incidência solar. Os painéis devem estar sempre direcionados ao sol para que exista a maior captação da luz durante todo o ano. No hemisfério sul, onde está localizada a cidade de Ilhéus, os módulos devem estar orientados para o Norte Geográfico.

Como módulos sempre têm que estar inclinados em relação ao plano horizontal para a direção Norte Geográfico. O ângulo vai depender da latitude da cidade de Ilhéus que é aproximadamente $14^\circ 47' 20''$ (APOLO11, 2020). E de acordo com a Tabela 1, tem-se que o ângulo de inclinação dos painéis de 19° , de acordo com a Figura 5.

Figura 5 - Visão lateral da inclinação de 19° do painel solar em relação ao plano horizontal



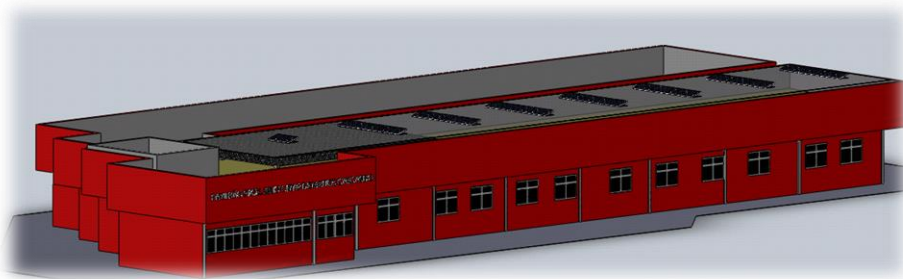
Com o a definição do ângulo de inclinação e a altura dos painéis depois de instalados, é preciso realizar a distribuição de todo o sistema sobre o Pavilhão Professor Júlio Cezar de Mattos Cascardo sempre evitando que um painel forme sombra sobre os outros.

Utilizando a equação (1), pode-se definir o espaçamento mínimo E_m entre os painéis. Para isso deve-se utilizar novamente a latitude da cidade de Ilhéus e encontrar o F_e , fator de espaçamento Gráfico 1 que é aproximadamente 2 e a altura H do painel que foi medido, como mostra a Figura 5. Assim, obtem-se

$$E_m = 2 \times 0,23 = 0,46 \quad (8)$$

Com a planta do pavilhão em destaque, que foi transferida para 3D utilizando o CAD e com os dados obtidos anteriormente pode-se colocar os painéis solares com espaçamento de 5 metros entre eles, de acordo com a Figura 6.

Figura 6 - Painéis com 5 m de distância entre si



O sistema fotovoltaico é bastante flexível e permite a realocação dos painéis sempre que exista essa necessidade. De acordo com o projeto em duas dimensões a área disponível no teto do Pavilhão é de 630 m² aproximadamente, mas apenas metade da área pode ser utilizada plenamente sem que a vegetação interfira no sistema.

Com a projeção em 3 dimensões foi possível perceber que o telhado é cercado por um rufo de concreto que não aparece no projeto original mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Rufo de concreto sobre o pavilhão



Em alguns períodos do dia pode gerar sombra sobre o sistema, bem como queda de rendimento. É possível utilizar estruturas para elevar os painéis de forma a ganhar maior tempo de insolação diária. Na Figura 8, tem-se um dos métodos de alocação que é bastante comum que é a utilização de uma treliça de elevação constituída por materiais leves como liga de alumínio, liga de aço, entre outros.

Figura 8 - Modelo de treliça de apoio para elevar os painéis fotovoltaicos



6 INVESTIMENTO NO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O prazo estipulado para a análise de retorno do investimento foi de 30 anos, pois essa é a expectativa de vida dos painéis fotovoltaicos. O inversor de carga tem vida útil menor e nesse mesmo período é necessário realizar duas trocas em média, ou seja, é necessário trocar de aparelho a cada 10 anos. Os custos dos sistemas fotovoltaicos para 30 anos são mostrados nos Quadros 7 e 8, exibindo o investimento no sistema para a iluminação e para a iluminação integrada à climatização respectivamente. Os preços dos equipamentos foram obtidos junto a um fornecedor da região.



Quadro 7- Custo total dos equipamentos do sistema fotovoltaico

CUSTO DO EQUIPAMENTO PARA A ILUMINAÇÃO EM 30 ANOS			
Item	Preço por unidade	Quantidade	Valor total
Painel Fotovoltaico KD 135	R\$ 890,00	25	R\$ 22.250,00
Inversor 2000 Wp	R\$ 900,00	3	R\$ 2.700,00
Custo total do investimento			R\$ 24.950,00

O inversor deve sempre trabalhar abaixo de sua potência de pico P_p . Esse fator deve ser considerado e, nesse caso, tem-se uma $P_p = 1,59$ KW, ou seja, está abaixo da potência de pico gerada pelo sistema fotovoltaico. O sistema fotovoltaico pode oscilar sua potência de pico e geralmente existe a variação de até 5% de acima da potência máxima. Dessa forma, é recomendado que o inversor esteja sempre 10% acima da potência de pico P_p do que o sistema oferece (RÜTHER, 2004). Nesse caso, tem-se que a potência de pico do sistema P_p é de 1,56 KW enquanto que o inversor tem potência de pico 2 KW, mantendo-se 28% além da margem de segurança. (MINHA CASA SOLAR, 2013).

Por outro lado, para manter essa mesma margem de segurança, para o sistema de iluminação e climatização, é necessário fracionar a potência total do sistema fotovoltaico. Para isso devem-se separar os painéis em grupos de forma que estejam sempre abaixo da potência de pico do inversor (Rüther, 2004). O modelo de inversor utilizado nesse caso apresenta potência de pico maior, pois existe uma carga maior gerada pelo sistema fotovoltaico. O inversor utilizado apresenta potência de pico de 3 KW, então os painéis devem estar agrupado de forma a gerar carga sempre abaixo desse limite considerando, ao mesmo tempo, a margem de segurança de 10%. Isso resulta em uma potência de pico 2,7 KW para cada inversor. (MINHA CASA SOLAR, 2013; RÜTHER, 2004)

De acordo com a potência de pico P_p de 132,76 KW obtido em (7), a potência de pico de cada inversor 2,7 KW e o número de painéis N_p são 2081 encontrados em (6), pode--se achar o número de inversores via regra de três simples. O resultado é que para cada 2,7 KW tempo um número de 50 inversores, e cada inversor ficará conectado a 41 painéis aproximadamente.

A união desses grupos forma um sistema composto por 50 inversores e contabilizando as duas trocas necessárias para o período de 30 anos, tem-se o



valor o investimento de acordo com a Quadro 7:

Quadro 8 - Custo total dos equipamentos do sistema fotovoltaico

CUSTO DO EQUIPAMENTO PARA A ILUMINAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO EM 30 ANOS			
Item	Preço por unidade	Quantidade	Valor total
Painel Fotovoltaico KD 135	R\$ 890,00	2082	R\$ 1.852.980,00
Inversor 3000 Wp	R\$ 3.200,00	150	R\$ 480.000,00
		Custo total do investimento	R\$ 2.332.980,00

O custo total do investimento encontrado na Quadro 8 mostra que é necessário alto valor para o investimento de um sistema fotovoltaico que abasteça a iluminação e a climatização do pavilhão. O alto valor se deve a potência de pico de 132,76 KW encontrado em (7), que revela a necessidade de uma grande carga necessária para a alimentação do sistema. Por outro lado, a utilização das células fotovoltaica para a iluminação, mostra ser mais atrativo por necessitar de um investimento de R\$ 24.950,00 de acordo com a Quadro 7.

7 ANÁLISE DE VIABILIDADE DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para Shayani et al (2006), com o valor do investimento em 30 anos de uso do sistema fotovoltaico é necessário calcular a produção energética durante esse mesmo tempo. Com a demanda de carga total diária em conjunto com o período de utilização de 30 anos, a potência produzida nesse mesmo período está expressa no Quadro 9:

Quadro 9 - Potência produzida pelos sistemas fotovoltaicos período de 30 anos

POTÊNCIA PRODUZIDA EM 30 ANOS				
Sistema	Potência diária	Dias de uso	Anos	Potência Produzida
Iluminação	11149,6 W	365	30	122,09 MWh
Iluminação e Climatização	929289,9 W	365	30	10.178,54 MWh

Comparando as potências totais produzidas pelos sistemas no período de 30 anos, pode-se identificar o valor de cada MWh produzido pelos sistemas fotovoltaicos, de acordo com a Quadro 10:

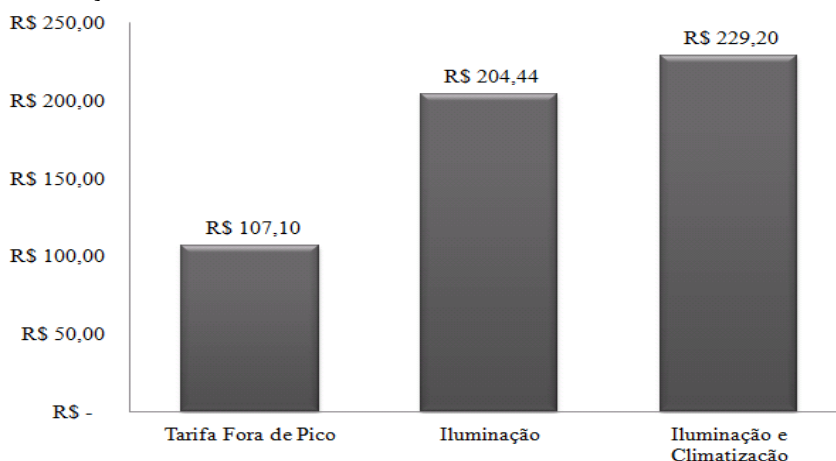


Quadro 10 - Custo por MWh considerando o investimento pela potência produzida.

POTÊNCIA PRODUZIDA EM 30 ANOS			
Sistema	Investimento (A)	Potência Produzida (B)	Custo por MWh (A)/(B)
Iluminação	R\$ 24.950,00	122,647 MWh	R\$ 204,44
Iluminação e climatização	R\$ 2.332.980,00	10.178,5 MWh	R\$ 229,20

A comparação da viabilidade da instalação do sistema fotovoltaico e do fornecimento normal de energia elétrica utilizou as taxas pagas pela UESC para a concessionária. A obtenção do valor foi realizada junto a Prefeitura do Campus. O contrato é do tipo A4 Horo-sazonal Verde trifásico, onde a tarifa cobrada é de R\$0,1071 referente ao horário fora de pico, ou seja, R\$ 107,10 para cada MWh. O Gráfico 2, mostra os valores do KWh para esse contrato de energia:

Gráfico 2 - relação entre a tarifa cobrada e os investimentos em sistemas fotovoltaicos



Relacionando os custos encontrados no Gráfico 2, no período atual, tem-se uma diferença de preços de 190,89% e 214% para os sistemas de iluminação e iluminação integrada à climatização respectivamente. Isso mostra que, para a situação atual, a utilização de painéis solares não traz retornos financeiros para a instituição. É importante ressaltar também que esses investimentos não incluem outros gastos como instalação e revisão que podem chegar a acrescentar até 25% nos valores investidos no sistema, mostrado nos Gráficos 3 e 4 (RÜTHER, 2004).

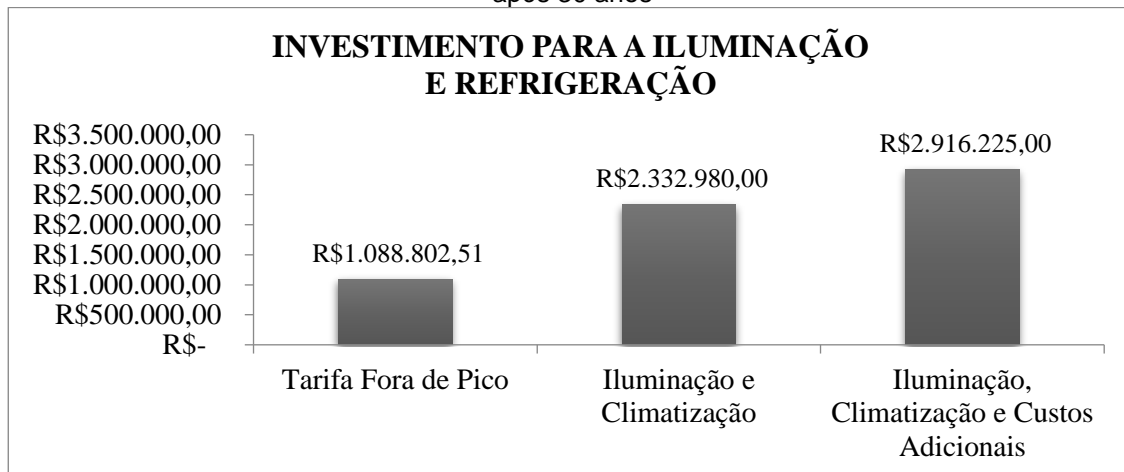


Gráfico 3 - Comparação dos investimentos totais para o sistema de iluminação após 30 anos



O Gráfico 3 evidencia a diferença entre os investimentos destacando os acréscimos de até 25% previstos na instalação do sistema para a iluminação. O custeio total do sistema fica ainda mais elevado em relação às tarifas quando adicionado mais essa variável. O Gráfico 4 abaixo mostra os custos do investimento considerando os gastos adicionais:

Gráfico 4: Comparação dos investimentos totais para o sistema de iluminação e refrigeração após 30 anos



Os Gráficos 3 e 4 mostram a diferença do valor pago pelo consumo de energia no prazo de 30 anos e seus respectivos custos por sistema de forma direta. São comparadas as taxas pagas a concessionária, o custo dos aparelhos e também os custos adicionais com instalação. Com esse comparativo pode-se identificar que são necessários grandes investimentos para a aquisição do sistema fotovoltaico comparado com as tarifas cobradas atualmente.



Os valores encontrados nos Quadros 7 e 8 são elevados, porém os valores pagos nas contas de energia da UESC superam os R\$200.000,00 por mês. No caso do valor calcular para o Quadro 7, o investimento seria pago em um mês com a tarifa de R\$ 107,10 MWh que em um mês custaria R\$ 77.112,00. Portanto, haveria um saldo positiva de R\$ 52.162,00 no caixa da UESC. No caso de considerar o sistema completo, o custo seria pago em dois anos e sete meses.

O sistema fotoelétrico encontra-se em fase de desenvolvimento e os custos de implantação vêm caindo em de forma acentuada. De acordo com as tendências de alta das tarifas cobradas e a redução dos custos de fabricação de painéis solares, é possível que no máximo em uma década haja a viabilidade na implantação dessa tecnologia. De imediato é possível buscar incentivos junto aos órgãos responsáveis pela energia e governos, a fim de obter benefícios pelo uso desse sistema na redução da demanda da energia convencional e estimula a utilização dessa tecnologia para região (SHAYANI et al, 2006).

8 CONCLUSÃO

A instalação do sistema fotovoltaico requer um planejamento adequado para que seu uso atinja os melhores rendimentos possíveis. Equipamentos como o inversor de carga apresentam perdas de rendimento consideráveis que podem chegar até a 10% do total do sistema, além dos painéis que podem chegar a até 2,5%, dependendo da região. O auxílio das ferramentas CAD possibilitou a visualização do espaço disponível para a instalação dos painéis no Pavilhão Professor Júlio Cezar de Mattos Cascardo, bem como identificar algumas diferenças de projeto. A utilização da ferramenta de desenho em 3 dimensões também permitiu mostrar que existe espaço disponível para a instalação de mais painéis caso exista a necessidade de uma carga maior, o melhor posicionamento em relação ao sol e a sua melhor distribuição considerando o espaço disponível.

A realização do levantamento fotoelétrico evidenciou os custos dos equipamentos para um sistema integrado à rede elétrica, mostrando que a viabilidade ainda é não possível. Mesmo na cidade de Ilhéus estando localizada em uma região de baixa latitude, com altos índices de insolação, utilizando o modelo de painel com o melhor custo benefício e empregando o método com os menores custos de implantação os valores ainda ultrapassam em duas vezes o



pago pela energia usual, no mesmo período de atividade, do sistema fotovoltaico.

A tecnologia fotovoltaica é hoje a maior esperança de aproveitamento energético. Com os devidos incentivos espera-se que a produção de células solares se torne comum assim como já é em alguns países europeus. Atualmente sua viabilidade ainda pode ser possível, mas o incentivo da utilização dessa tecnologia dentro da instituição pode trazer interesse para regional.

AGRADECIMENTO

JHS agradece ao CNPq pela bolsa de pesquisa.



REFERÊNCIAS

Apolo11. Latitude e Longitude das Cidades Brasileiras. Disponível em: <<http://apolo11.com/latlon.php>>. Acesso 15 abr. 2020.

Atlas, Solarimétrico do Brasil. (2000). Recife Editora Universitária da UFPE.

Brito, C. M. & Silva, J. A (2006). Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em eletricidade. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Fernandes, F. L. F. et al. (2022). Geração de energia elétrica no Sudeste, Sul e Nordeste brasileiro analisando custo-benefício: Módulos fotovoltaicos e turbinas eólicas. Revista Científic@Universitas, Itajubá v.9, n.3, p. 108-120. <http://revista.fepi.br/revista/index.php/revista/article/view/828>

Cresesb (2004). Energia Solar: Princípios e Aplicações. http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf.

Eletrobrás (2019). Manual de Tarifação da Energia Elétrica. PROCEL.

Falcão, V. D. (2005). *Fabricação de Células Solares de CdS / CdTe*. Tese de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro-RJ. http://www.ime.eb.mil.br/arquivos/teses/se4/cm/dissertacaofinal_viviennedenise.pdf

Minha Casa Solar (2020). Disponível em: <http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br>.

Requena, M. B. (2009). Células solares: Fundamentos e aplicações. Departamento de Física: Instituto de Geociências e Ciências Exatas Campus de Rio Claro - UNESP. <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/147490/2009-273-requena.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rüther, R. (2004). *Edifícios Solares Fotovoltaicos*. 1º edição. Editora UFSC/LABSOLAR. Florianópolis. <https://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>

Shayani, R. A.; Oliveira, M. A. & Camargo, I. T. C. (2006). Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais. Congresso Brasileiro de Planejamento Energético Brasília. https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3427159/mod_resource/content/1/solar.pdf

Solarterra (2013). Energia Solar Fotovoltaica: Guia Prático, São Paulo. <https://permacoletivo.files.wordpress.com/2008/05/curso-energia-solar-fotovoltaica.pdf>

Souza, A. F. & Coelho, R. T. (2003). Tecnologia CAD/CAM: Definição e estado da



arte visando auxiliar sua implantação em um ambiente fabril. XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Minas Gerais. https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2003_tr0504_0920.pdf

Varella, F. O. M. & Gomes, R. D. M. (2009). Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação. Pro COBRE Connects Life, Campinas. http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/RELATORIO_PROJETO_2_FINAL.pdf

Young, H. D. & Freedman, R. A. (2009). Física IV: Ótica e Física Moderna. 12^o edição. Editora Pearson Education do Brasil, São Paulo.