



REVISTA METODISTA FACO ISSN 2764-8567

PROJETO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA NAS INSTALAÇÕES DA FACULDADE METODISTA CONEXIONAL

Valdivan Leonardo dos Santos ¹

Claudemir Correia Ribas ²

RESUMO

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de um projeto de microgeração fotovoltaico com sistema on-grid nas instalações da Faculdade Metodista Conexional. A princípio foi realizada a revisão bibliográfica abordando os principais tópicos do tema. A seguir foram apresentadas as normas estabelecidas pela ANEEL que determinam os requisitos do projeto. Os dados de irradiação e temperatura local que determinaram o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos e do inversor de frequência do sistema proposto, através de anotações de demanda e cálculos de projeto de demanda. A partir do projeto dimensionado obtiveram-se os dados estimados de energia elétrica gerada em comparação com as estimativas de consumo. Os resultados foram submetidos a análise financeira para verificação de TIR e *payback* descontado, a taxa mínima de atratividade usada no projeto foi de 4 % a.a. O estudo concluiu que o investimento é viável economicamente, pois sua TIR calculada foi de 19,86 %, tendo *payback* previsto para 5 anos e 10 meses; a estimativa de economia acumulada de despesa com conta de energia foi de R\$ 149.471,38 ao longo do prazo de vigência do projeto, que nesse caso, é de 25 anos.

Palavras-chave: Solar. Engenheiro. Construção. Energia. Sustentabilidade

ABSTRAT

The present work consists of the development of a photovoltaic microgeneration project with an on-grid system in the facilities of the Faculdade Metodista Conexional. At first, a bibliographic review was carried out covering the main topics of the theme. Next, the standards established by ANEEL that determine the project's requirements were presented. The irradiation and local temperature data that determined the sizing of the photovoltaic modules and the frequency inverter of the proposed system, through demand annotations and demand design calculations. From the dimensioned project, the estimated data of generated electric energy were obtained in comparison with the consumption estimates. The results were submitted to financial analysis to verify the IRR and discounted payback, the minimum attractiveness rate used in the project was 4% p.a. The study concluded that the investment is economically viable, as its calculated IRR was 19.86%, with a payback expected for 5 years and 10 months; the estimate of accumulated savings in energy bill expenses was R\$ 149,471.38 over the term of the project, which in this case is 25 years.

Keywords: Solar. Engineer. Construction. Energy. Sustainability

¹Professor de Engenharia nas Matérias de Fundações, Expressão Gráfica e Sustentabilidade, Pós Doutorando em Engenharia Civil pela EBWU - Emil Brunner World University ² Claudemir e Especialista e Engenheiro formado pela Faculdade Metodista Conexional.

Energia Solar

Energia solar é toda forma de energia proveniente da luz e do calor do sol, as quais podemos aproveitar através de diferentes tecnologias e para diversos fins, como energia térmica com aquecimento de água através dos raios solares ou a geração elétrica através das placas solares fotovoltaicas.

Segundo Hamilton (1997), entende-se por energia solar, a energia obtida do Sol, gerada em seu núcleo, que como ondas eletromagnéticas (fótons) chega a superfície da Terra, de maneira direta ou difusa. No Sol, a temperatura pode chegar a 15.000.000° C e a pressão atmosférica é 340 bilhões de vezes maior em comparação com a da Terra ao nível do mar, são tão intensas que ocorrem reações nucleares.

Estas reações transformam quatro prótons ou núcleos de átomos de hidrogênio em uma partícula alfa, que é o núcleo de um átomo de hélio. A partícula alfa é aproximadamente 0,7% menos massiva do que quatro prótons. A diferença em massa é expelida como energia e carregada até a superfície do Sol, através de um processo conhecido como convecção, e é liberada em forma de luz e calor.

A energia gerada no interior do Sol leva um milhão de anos para chegar à superfície. A cada segundo 700 milhões de toneladas de hidrogênio são convertidos em cinza de hélio. Durante este processo 5 milhões de toneladas de energia pura são liberados. Dessa forma, o Sol irradia energia por todas as direções e uma pequena fração atinge a Terra, aquecendo-a e controlando o sistema climático global (HAMILTON, 1997).

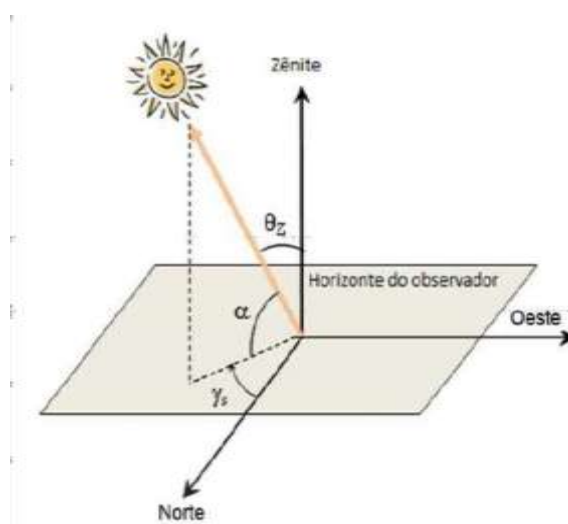
As formas de energia que conhecemos de alguma forma é derivada da energia solar, a energia do sol que altera o estado físico da água, fazendo com que essa migre e possa ser represada e aproveitada nas usinas hidrelétricas, o aquecimento das massas de ar provoca os ventos, que são aproveitados nos aerogeradores dos parques eólicos e a energia solar, absorvida na fotossíntese, que dá vida às plantas utilizadas como fonte de energia de biomassa e até mesmo o petróleo, que vem de restos de vegetação e animais pré-históricos, também é derivado do sol, pois este deu a energia necessária ao aparecimento da vida na terra em eras passadas.

De acordo com CRESEB – Centro de Referências para Energia Solar e Eólica, as relações geométricas entre os raios solares, que variam de acordo com o

movimento ilusório do Sol e a superfície terrestre, são descritas através de vários ângulos, os quais estão apresentados na Figura 1 e Figura 2 e definidos a seguir:

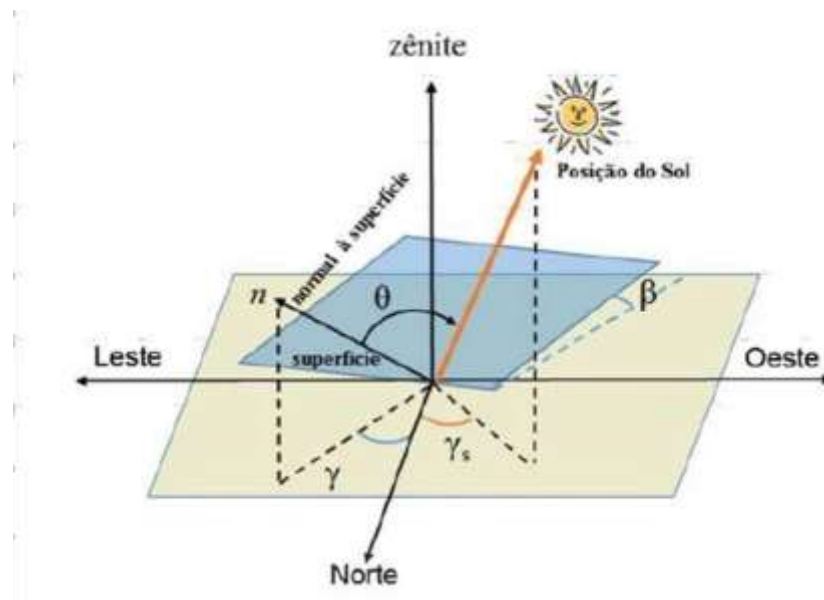
- Ângulo Zenital: ângulo formado entre os raios do Sol e a vertical local (Zênite);
- Altura ou Elevação Solar: ângulo compreendido entre os raios do Sol e a projeção dos mesmos sobre o plano horizontal (horizonte do observador);
- Ângulo Azimutal do Sol: também chamado azimuth solar, é o ângulo entre a projeção dos raios solares no plano horizontal e a direção Norte-Sul (horizonte do observador). O deslocamento angular é tomado a partir do Norte (0°) geográfico, sendo, por convenção, positivo quando a projeção se encontrar à direita do Sul (a Leste) e negativo quando se encontrar à esquerda (a Oeste);
- Ângulo Azimutal da Superfície: ângulo entre a projeção da normal à superfície no plano horizontal e a direção Norte-Sul. Obedece às mesmas convenções do azimuth solar;
- Inclinação da superfície de captação: ângulo entre o plano da superfície em questão e o plano horizontal [0° 90°];
- Ângulo de incidência: ângulo formado entre os raios do Sol e a normal à superfície de captação.

Figura 1 - Relações geométricas entre os raios solares a superfície terrestre.



Fonte: CRESEB – Centro de Referências para Energia Solar e Eólica.

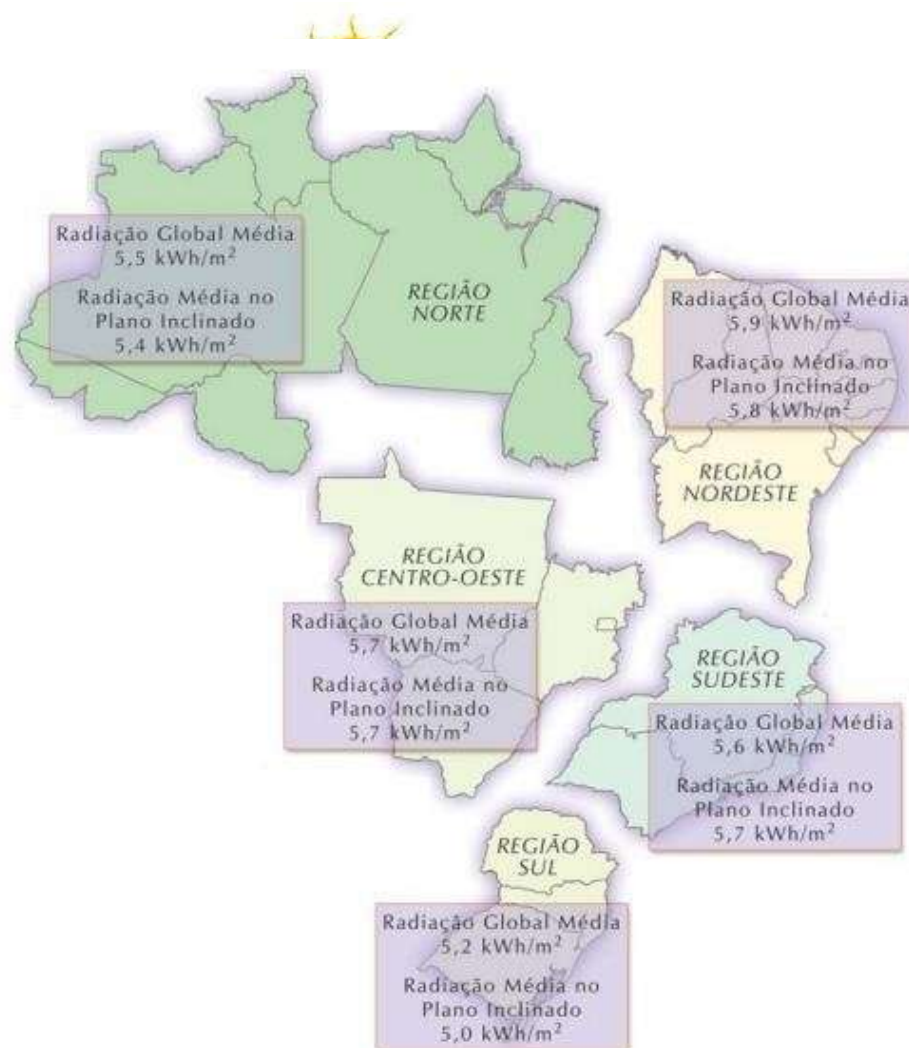
Figura 2 – Outras relações geométricas entre os raios solares a superfície terrestre



Fonte: CRESEB – Centro de Referências para Energia Solar e Eólica.

Como pode ser visto na Figura 3, se a superfície estiver inclinada com relação à horizontal, haverá um terceiro componente refletido pelo ambiente do entorno (solo, vegetação, obstáculos, terrenos rochosos, etc.). O coeficiente de reflexão destas superfícies é denominado de “albedo” e quanto maior o seu valor, maior será o valor da irradiância no plano inclinado (GOETZE, 2017)

Figura 3 – Componentes da radiação solar

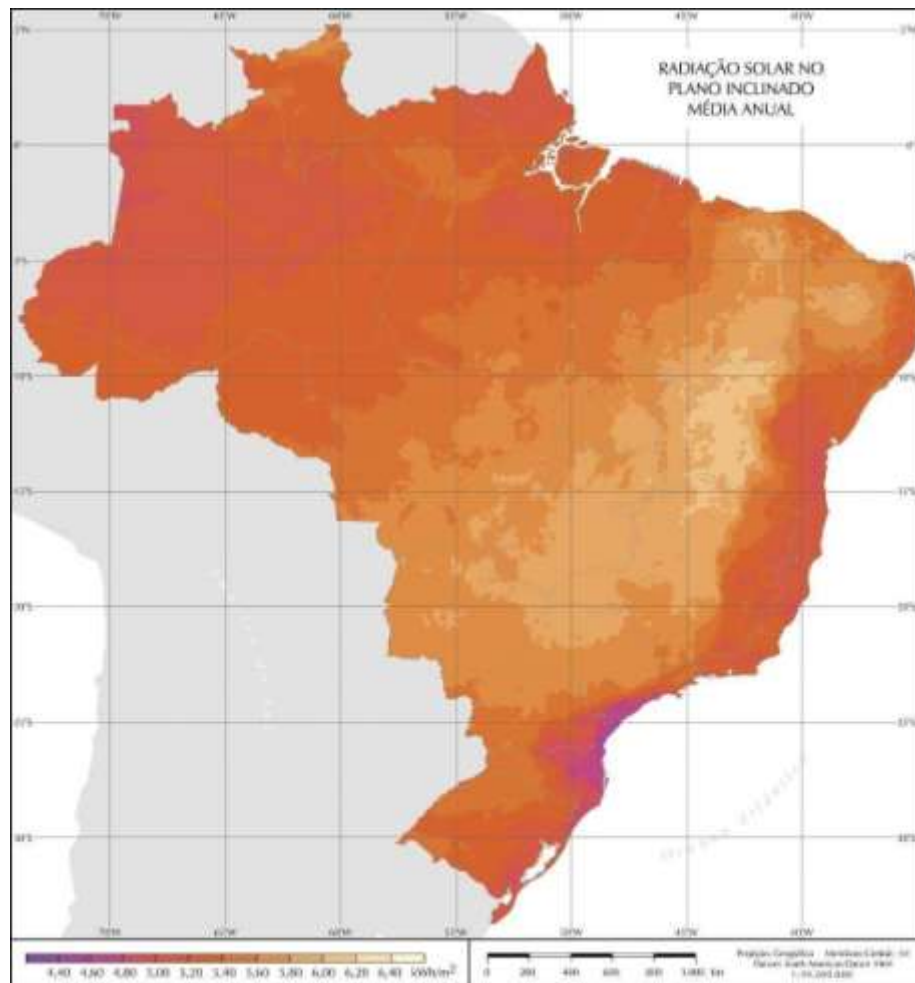


Fonte: CRESEB – Centro de Referências para Energia Solar e Eólica Potencial Solar no Brasil. O Brasil é um país de dimensões continentais e encontra-se localizado em posição privilegiada no globo terrestre, cortado ao Norte pela linha do equador, posição de maior incidência direta de raios solares no planeta. O mapa abaixo mostra o potencial anual médio de energia solar para o período de 10 anos em que este estudo se baseia. A região Nordeste apresenta a maior disponibilidade energética, seguida pelas regiões Centro-Oeste e Sudeste. As características climáticas da região Norte reduzem seu potencial solar médio a valores próximos da região Sul. (PEREIRA *et al*; 2006) Figura 4 - Potencial anual médio para o período de 10 anos.

Fonte: Atlas Solar INPE, 2ª Ed.

Segundo o CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, a área central do Brasil e a região amazônica apresentam menor variabilidade durante o Inverno (junho a agosto) e maior variabilidade durante o Verão. Esse comportamento reflete a variação da nebulosidade ao longo do ano. Durante o Inverno ocorrem poucas chuvas em toda essa região e o número de dias com céu claro é maior, reduzindo a variabilidade da irradiação solar na região. A presença de maior nebulosidade durante o Verão acarreta uma variabilidade maior da irradiação solar durante esse período.

Figura 5 - Mapa com a média da irradiação solar anual do Brasil.



Fonte: Atlas Solar INPE, 2ª Ed.

Conforme observa-se no mapa acima, a média anual do total diário de irradiação solar é acima de 4,6 kWh/m² em praticamente todas as regiões do país.

Sistema Fotovoltaico

A geração de energia elétrica através do efeito fotovoltaico foi descoberta em 1839 por Alexandre Edmond Becquerel, físico francês conhecido por seus trabalhos sobre a luminescência e fosforescência. O primeiro dispositivo fotovoltaico foi desenvolvido em 1876, porém somente em 1956 que se iniciou sua produção industrial. Esta produção ocorreu devido à corrida espacial, que buscava o fornecimento de energia durante os períodos de permanência no espaço e também para a manutenção dos satélites.

A exploração dessa energia gerada pelo Sol se apresenta como uma das alternativas mais promissoras para o desenvolvimento da sociedade no que concerne à sua demanda energética. É importante ressaltar que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as fontes de energia na Terra, no entanto a proposta desse trabalho é apresentar um projeto de aproveitamento de umas das formas de energia solar direta. (GOETZE, 2017)

No sistema fotovoltaico, durante o dia os módulos captam a luz do sol e a transformam em energia, quanto mais luz, mais geração, por isso que o sistema irá apresentar o pico de geração durante o meio-dia. Isso ocorre devido as células fotovoltaicas que compõem os módulos serem extremamente dependentes da entrada das partículas de luz, os fótons, em seu interior.

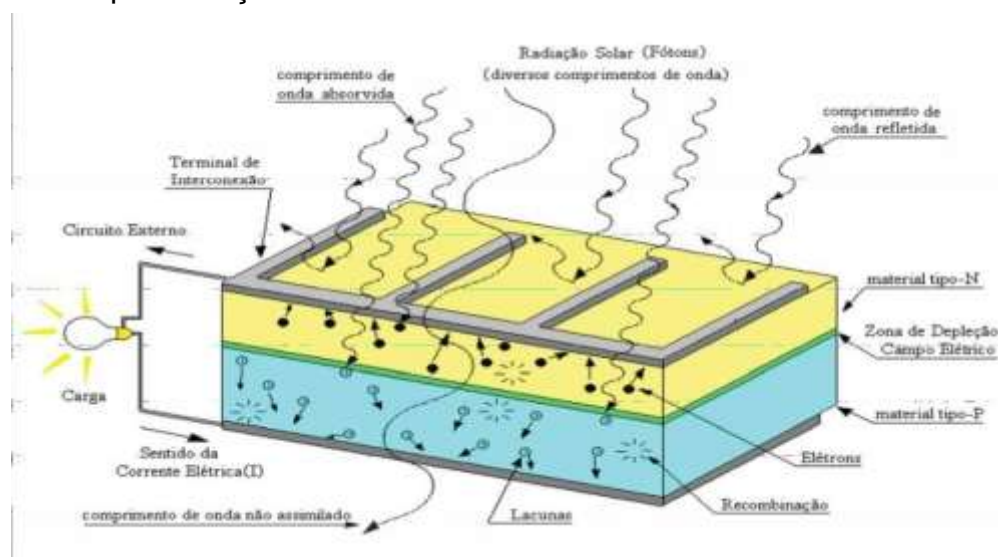
Já transformada em energia elétrica, é então enviada para um inversor interativo, aparelho que transforma de corrente contínua para corrente alternada, após passar pelo inversor, a energia elétrica pode ser usada em um sistema *on grid* que é ligada na rede da concessionária ou *off grid* que é independente da rede da concessionária, porém depende de um banco de células de baterias para armazenar a eletricidade acumulada.

Células Fotovoltaicas

A célula fotovoltaica, é o dispositivo elétrico responsável por converter a energia da luz do sol diretamente em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico. Existem diversos tipos de células fotovoltaicas, que são classificados pelo material e refinamento usado.

Os principais tipos de células fotovoltaicas são produzidos em silício, podendo ser cristalino, monocristalino, policristalina e silício amorfo. Tradicionalmente, são usadas 36, 60 ou 72 células fotovoltaicas interligadas em série para montar uma placa solar fotovoltaica, que também é chamada de painel solar ou módulo fotovoltaico.

Figura 6 – Representação de uma célula fotovoltaica



Fonte: Portal Solar, 2016

Classificação das Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas devem ser produzidas em materiais semicondutores, portanto, os tipos de células fotovoltaicas mais utilizados no mundo são de silício, tais como silício cristalino, silício monocristalino (mono-Si), silício policristalino (p-Si) e silício amorfo (a-Si).

Células de Silício Cristalino

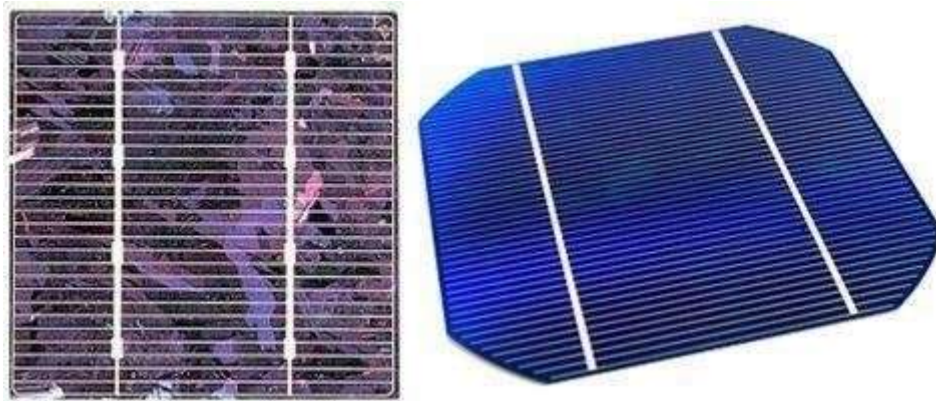
Este é o tipo mais comumente utilizado, na sua produção, o C-Si silício cristalino são cortados em lingotes de finíssimos e tratadas quimicamente para que possam produzir o efeito fotovoltaico.

Célula de Silício Monocristalino (mono-Si)

Estas células são do tipo mais eficiente na conversão elétrica, entre 15% a 18%, porém são mais caras devido o processo necessário para a extração do cristal puro de silício. Os cantos das células são recortados como um octógono, pois as

lâminas de silício são cortadas a partir de lingotes cilíndricos. Os painéis solares que utilizam células mono-Si exibem um padrão distinto de pequenos diamantes brancos.

Figura 7 - Células Fotovoltaicas de silício monocristalino



Fonte: GreenPro/Suniva www.suniva.com

Silício Policristalino (p-Si)

Por utilizarem uma forma menos pura do silício, as células policristalinas são mais baratas, portanto, apresentam um grau de eficiência menor que as células monocristalinas, entre 13% a 15%.

Figura 8 - Células Fotovoltaicas de silício Policristalino



Fonte: GreenPro/Suniva www.suniva.com

Silício Amorfo (a-Si)

A palavra “amorfo” significa “sem forma”, o que significa que esse silício não possui característica cristalina, sendo formado pela absorção de hidrogênio e

resultando em uma célula de pouca eficiência, entre 8% a 10%, a qual ainda é degradada pela ação da luz nos primeiros meses de uso.

Para tecnologias espaciais as células fotovoltaicas não são feitas de silício como as convencionais, é utilizado o Gálio Arsênio (GaAs) devido ter alta eficiência na conversão energética.

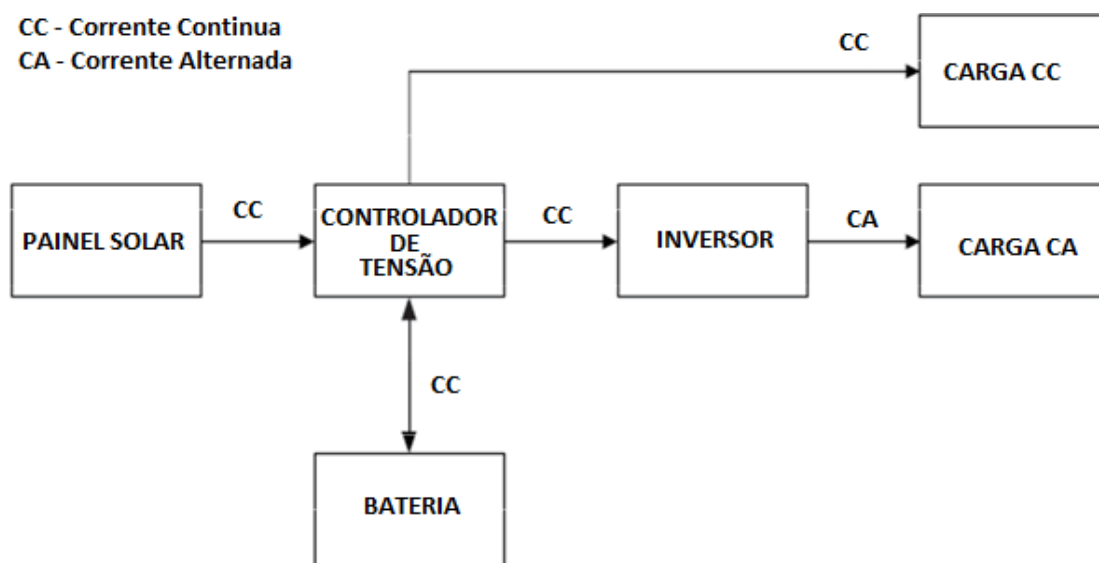
Atualmente, existem outras tecnologias de células fotovoltaicas sendo desenvolvidas, principalmente, para reduzir os custos, conseqüentemente aumentando a demanda pelo uso desta tecnologia e a eficiência na geração.

Tipos de Sistema Fotovoltaico

Sistema Off Grid

Os sistemas *off grid* ou sistemas autônomos, são aqueles que produzem eletricidade independentemente de outras fontes de energia. Estes podem alimentar cargas de corrente contínua e/ou de corrente alternada, dependendo da aplicação desejada. Neste tipo de operação, é necessário o uso de baterias, e os elementos que compõe o sistema podem variar de acordo com as necessidades do projeto. Abaixo mostra-se um diagrama (figura 08) que representa a operação de um sistema *off grid* alimentando cargas de corrente contínua e de corrente alternada.

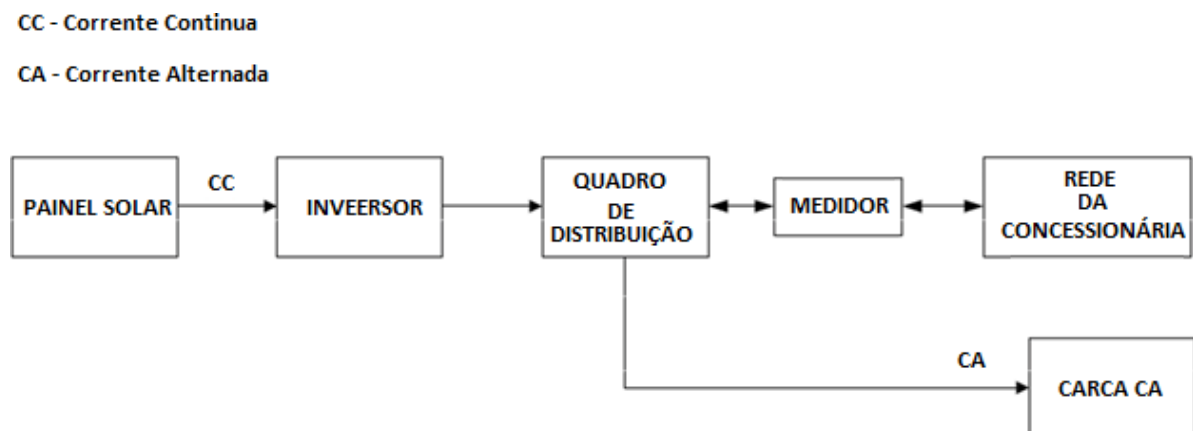
Figura 9 – Diagrama representativo de um sistema *off grid* alimentando cargas de corrente contínua e de corrente alternada.



Sistema On Grid

O sistema de energia solar *on grid* é o sistema de fotovoltaico que permanece conectado à rede da concessionária de energia elétrica, neste caso, nos momentos em que há pouca produção de energia por parte do sistema fotovoltaico, é possível utilizar da fonte da concessionária e quando há excesso de produção, recebe-se créditos da distribuidora, ou seja, a energia elétrica é “devolvida” para a concessionária.

Figura 10 – Diagrama representativo de um sistema *on grid* ligado a rede da concessionária de energia elétrica.

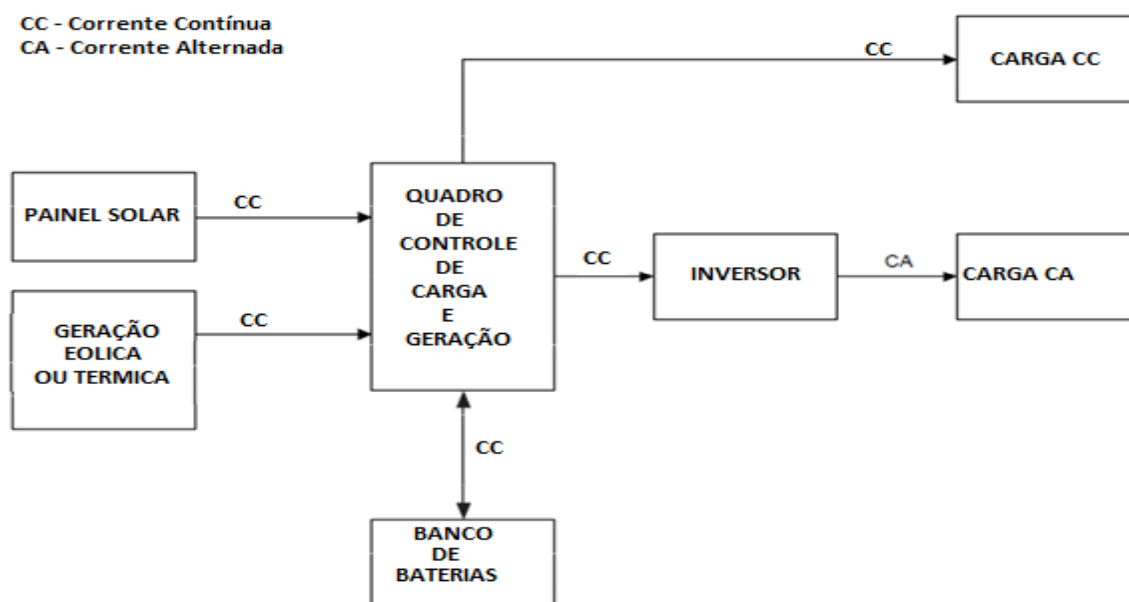


Fonte: Autoria Própria, 2021

Sistema Híbrido

O sistema híbrido é um sistema *off grid* operando em conjunto com outros sistemas de geração tais como: sistemas eólicos e termoelétricas desde que sejam isolados da rede de concessionária de energia elétrica. Em algumas situações, essa união pode ser mais vantajosa e econômica do que só o sistema fotovoltaico operando de forma autônoma, já que acarreta na redução da potência instalada de painéis solares, diminuindo assim, os custos totais.

Figura 11 – Diagrama representativo de um sistema *off grid* híbrido interligado a



geração independente.

Fonte: Autoria Própria, 2021

Legislação Brasileira sobre Sistema de Cogeração

A organização ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica, foi criada em 26 de dezembro de 1996 sob a Lei Nº 9.427, vinculada ao Ministério de Minas e Energias com sede e foro no Distrito Federal com duração indeterminada, com a finalidade de regular e fiscalizar a Geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica em conformidade com as políticas e diretrizes do governo federal.

No que diz respeito a distribuição de energia elétrica, a ANEEL elaborou os Procedimentos de Distribuição (PRODIST), com a participação dos agentes de distribuição e de outras entidades e associações do setor elétrico nacional. O PRODIST é dividido em 10 módulos que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas elétricos.

No módulo 3 que tange a padronização do sistema de distribuição, a partir da Resolução Normativa nº 482 em de 17 de Abril de 2012, inclui as diretrizes para

acesso ao sistema de micro e minigeração distribuída, estabelece as condições gerais para o acesso aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o regulamenta o sistema de compensação de energia elétrica, visando reduzir as barreiras regulatórias existentes para conexão de geração de pequeno porte na rede de distribuição. Após uma atualização de 24 de novembro de 2015 com a Resolução Normativa nº 687, a geração distribuída ficou classificada da seguinte forma:

a) Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

b) Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. (GOETZE, 2017)

1. METODOLOGIA

A metodologia do trabalho foi escalonada em três etapas, na primeira foi desenvolvimento da revisão bibliográfica para reunir artigos e trabalhos técnicos com a finalidade de dar embasamento a proposta do projeto. Foram usadas bases técnicas governamentais como: ANEEL, EPE, CEPEL e SunData v. 3.0, além de artigos científicos, monografias e cartilhas disponíveis no google acadêmico.

Na segunda etapa da pesquisa foi feito a caracterização do local de estudo do projeto, verificando as condições de infra estrutura, irradiação solar, posição do prédio em relação ao sol e ângulo de inclinação das placas de acordo com a latitude do local de instalação da planta.

Fundamentado nessas informações, procura-se otimizar o sistema de microgeração fotovoltaico a partir da demanda e histórico de consumo elétrico do prédio e das condições do ambiente. De posse dessas informações foram feitos os cálculos de demanda para fazer o dimensionamento dos componentes do sistema de microgeração fotovoltaica, levando em consideração os fatores mencionados acima.

No último momento, foi verificado a viabilidade econômica do projeto com base nos custos de aquisição, instalação e manutenção encontrados, através de orçamentos feitos com lojas da cidade a partir da planilha de dimensionamento para atendimento de demanda. Foram feitos 3 orçamentos em empresas especializadas na comercialização e instalação de sistema fotovoltaicos no período de janeiro e

fevereiro de 2021. Em seguida, os valores foram comparados para a escolha do melhor custo benefício, levando em consideração o tipo de produto, capacidade de manutenção, origem, garantia e assistência de pós venda.

Os valores colocados em planilha foram submetidos a estudos de engenharia econômica com análise de payback descontado e taxa interna de retorno (TIR) com o auxílio do programa Microsoft Office Excel 2010. Em ambas as metodologias de avaliação financeira foram usadas como parâmetro de taxa mínima de atratividade o valor de 4,00 % ao ano, o que corresponde a taxa de inflação estimada para o ano de 2021 (LEWGOY, 2021). A taxa interna de retorno aceita como satisfatório deve ser um valor superior a 4 % ao ano.

Ambiente de projeto

O sistema de microgeração fotovoltaica foi projetado para atender a demanda de consumo integral (100%) de energia elétrica do prédio da Faculdade Metodista Conexional, no estado do Mato Grosso. As coordenadas geográficas do empreendimento são 7.02575° S e 55.41536° O.

O local apresenta características favoráveis para a instalação, pois está alocado uma região com baixa densidade de edificações, vegetação rasteira, possui bastante área de telhado e possui disponibilidade de luminosa durante o dia todo. As taxas de perdas de captação de luminosidade por sombreamento nestas condições tendem ser menores.

Para obter os dados de irradiação do local a ser instalado o sistema, foi utilizado uma plataforma de cálculo da CRESESB - Centro de Referências para Energia Solar e Eólica, o Potencial Solar – SunData v 3.0. A plataforma calcula os dados de irradiação solar diária média (Kwh/m².dia) a partir das coordenadas geográficas. A disponibilidade de espaço para a instalação das placas no telhado é de 268 m² direcionada para o leste.

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O prédio dispõe de uma área de telhado considerada boa, são 3.000 m² disponíveis, se considerar que cada placa instalada cubra uma área de 2,10 m², logo o espaço disponível pode acomodar 99 placas com qualidade para realização de manutenções futuras. A unidade consumidora é atendida pela concessionária equatorial energia cuja sua tarifa somando aos tributos e encargos é de aproximadamente R\$ 0,93 kWh. Os dados de consumo foram aferidos e colocados na tabela 01 abaixo.

Tabela 01 - Dados de consumo do imóvel.

Mês de referencia	Consumo (kWh.mês)	Tarifa (R\$)	Despesa
Jan/2020	1450	R\$ 0,93	R\$ 1.348,50
Fev/2020	1596	R\$ 0,93	R\$ 1.484,28
Mar/2020	1590	R\$ 0,93	R\$ 1.478,70
Abr/2020	1430	R\$ 0,93	R\$ 1.329,90
Mai/2020	1590	R\$ 0,93	R\$ 1.478,70
Jun/2020	900	R\$ 0,93	R\$ 837,00
Jul/2020	800	R\$ 0,93	R\$ 744,00
Ago/2020	1290	R\$ 0,93	R\$ 1.199,70
Set/2020	1350	R\$ 0,93	R\$ 1.255,50
Out/2020	1450	R\$ 0,93	R\$ 1.348,50
Nov/2020	1850	R\$ 0,93	R\$ 1.720,50
Dez/2020	1670	R\$ 0,93	R\$ 1.553,10
Total	16.966	-	R\$ 15.778,38

Fonte: Autor, 2021

A tabela 01 mostra que a demanda de consumo anual de energia é de 16.966 kWh, logo o sistema fotovoltaico on-grid terá que ser projetado observando essa quantidade de geração mais um valor de coeficiente de acréscimo que corresponde a possíveis perdas por mudanças de direção, aumento do consumo do cliente, sujeiras e efeitos joule nos componentes.

Foram avaliados os dados de irradiação do local onde a edificação está localizada, a base utilizada foi o SunData v. 3.0 disponível no portal CRESEB, os resultados são mostrados na tabela 02.

Tabela 02 - Dados de irradiação da estação Novo Progresso-PA

IRRADIAÇÃO (kWh/m².dia)			
PLANO HORIZONTAL 0°N PLANO INCLINADO 7°N PLANO INCLINADO 9° N			
AN	4,34	4,1 9	4,1 4
FEV	4,33	4,2 4	4,2 1
MAR	4,3	4,3	4,2 9
ABR	4,18	4,2 7	4,2 9
MAI	4,34	4,5 5	4,5 9
JUN	4,67	4,9 6	5,0 3
JUL	4,66	4,9 3	4,9 9
AGO	5,22	5,4 2	5,4 6
SET	4,93	4,9 7	4,9 7
OUT	4,92	4,8 4	4,8 1
NOV	4,73	4,5 7	4,5 2
DEZ	4,57	4,3 8	4,3 2
MÉDIA	4,60	4,6 4	4,6 4
Latitude: 7,101° S			
Longitude: 55,349° O			
Município: Novo Progresso , PA -			

BRASIL Fonte: Adaptado CRESEB, 2021

Na tabela 02 é mostrado que a quantidade mínima de energia solar disponível no local onde está a escola é de 4,14 kWh/m².dia no mês de janeiro quando o painel está posicionado para o norte com inclinação de 9°. Dessa forma os valores são favoráveis a implantação do sistema, uma vez que os índices permanecem altos durante todos os meses do ano.

Perda associadas a direção

As perdas acumuladas devem ser consideradas no projeto de implantação de um sistema fotovoltaico, isso por que a performance dos painéis dependerá da direção ao qual será apontada. No projeto estudado a direção que os painéis serão instalados acompanhará o caimento da cobertura. O telhado tem inclinação de 15% direcionado ao leste.

Os painéis direcionado para o norte tem o melhor rendimento, segundo estudos de performance. Neste projeto as placas estão voltadas para o leste há uma perda de 12 a 20% no rendimento da geração de energia. As perdas acumuladas devido a deterioração dos equipamentos somam 3 a 5%. Perda devido a temperatura de operação 1 %. A tabela 03 mostra os resultados das perdas calculadas para o projeto.

Tabela 03 - Quadro de perdas de geração.

Descrição da perda	Porcentage m	Obs.
Perda devido a direção leste	12 %	Inclinação de 15° para o leste
Perda devido ao aquecimento	1 %	-
Perda devido ao desgaste dos Componentes	3 %	-
Total	16 %	-

Fonte: Autor, 2021.

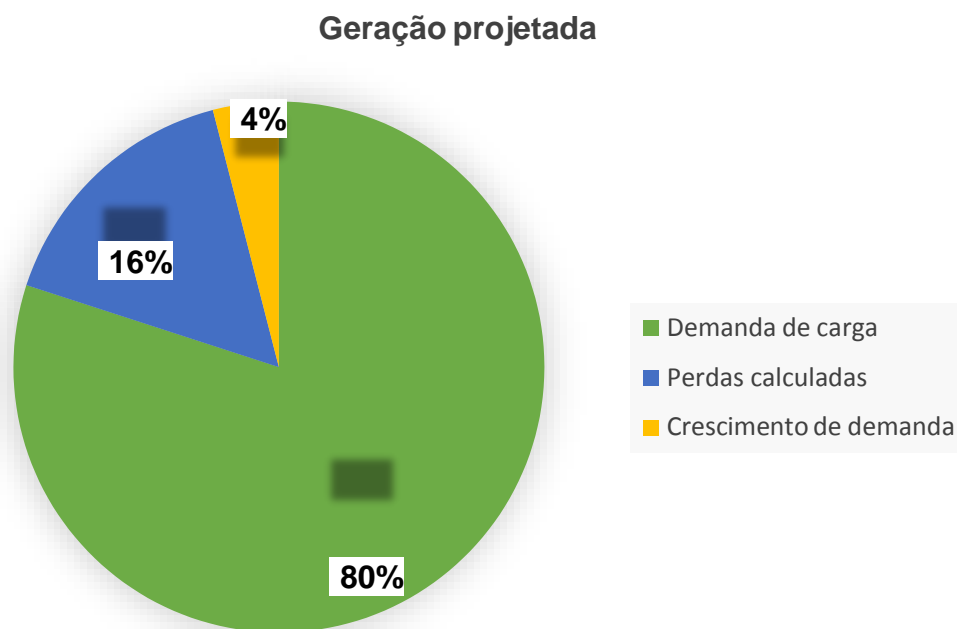
Projeto on-grid

O projeto será dimensionado para gerar 16.966 kWh por ano, levando em consideração perdas e majoração por aumento de consumo do prédio, o consumo anual será majorado em 20 %, dessa forma o sistema será projetado para a demanda anual de 20.359,2 kWh/ano. Conforme mostra a equação 01. A figura 12 mostra as condições utilizadas para o projeto. O memorial descritivo do projeto, conforme normativa da concessionária de energia, é apresentado no apêndice 02 desse trabalho.

$$\varepsilon = \delta * \text{consumo anual} = 1,2 * 16.966 = 20.359,20 \text{ kWh/ano eq. 01}$$

Onde: ε é a energia gerada anualmente e δ é a taxa de majoração do projeto.

Figura 12 – Gráfico de distribuição de carga projetada.



Fonte: Autor, 2021.

Dimensionamento da quantidade de módulos

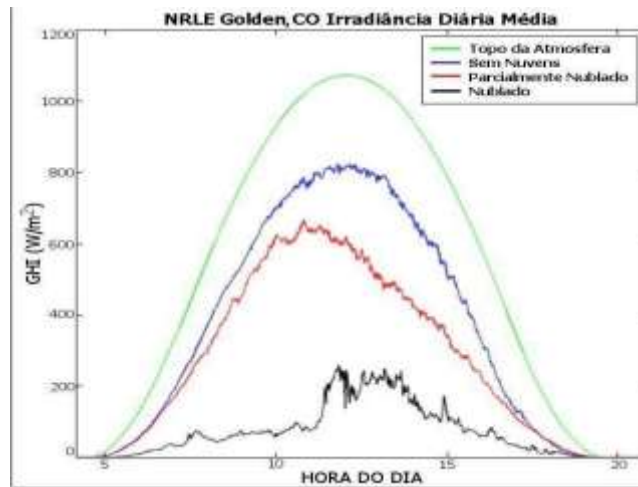
O tempo de sol pleno de projeto calculado foi de 4h dia, seguindo o tempo de picos de irradiação solar mostrado no gráfico de distribuição normal teórica (figura 13). Os dados da tabela 02 mostram que a menor média diária de geração para a região onde a plana será instalada é de 4,14 kWh/m².dia, que representa 4.140 Wh/m².

Aplicando a equação 02 é possível identificar o potencial solar superficial por hora é de 175,95 Wh/m². Para os módulos de 2 m², o potencial disponível será de 351,90 W, logo o equipamento escolhido para a planta será o de 340 Wp policristalinos com dimensões de 0,99 m por 1,98 m.

$$\gamma = \frac{1000 * P}{T} * 0,17 = \text{eq. 02}$$

$$\gamma = \frac{1000 * 4,14}{4} * 0,17 = 175,95 \text{ Wh/m}^2$$

Onde: γ é o potencial solar superficial por hora (Wh/m^2), P é o potencial em



(kWh/m^2 dia) e T é a hora de sol pleno de projeto (h).

Figura 13 – Distribuição teórica normal da irradiação solar

Fonte: Portal recurso solar, 2021.

O número de placas será definido através da equação 03 e a montagem delas segue o croqui apresentado no apêndice 01.

$$Np = \frac{\varepsilon}{1440 * Pot p} = eq. 03$$

$$Np = \frac{20.359,2}{1440 * 0,34} = 41,58 = 42 \text{ placas}$$

Onde: ε é a energia gerada anualmente e $P_{ot p}$ é a potência da placa em kW.

Dimensionamento do inversor on-grid

O dimensionamento do inversor grid-tie é calculado conforme a quantidade de placas inseridas no projeto. Essa planta prever o uso de 42 módulos de 340 Wp, logo o inversor será calculado tendo como requisito a potência máxima de 14,28 kWp. Existe vários inversores no mercado cuja a potência nominal é menor que o valor calculado para o projeto, entretanto há a possibilidade de instalação.

Outros fatores importantes são os arranjos dos módulos, a tensão nominal de conexão à rede e as proteções elétricas do sistema. O inversor escolhido para o projeto será o Intelbras Solar 13000 EGT MAX trifásico, o mesmo já dispõe de proteção CC (stringbox CC) integrado no dispositivo, o que diminui seu custo de implantação.

A potência máxima de entrada desse dispositivo é de 15.600 W, valor esse superior ao requisito projetado.

Figura 14 – Inversor Intelbras 13,0 kW



Fonte: Intelbras Solar (2020).

Tabela 04 - Quadro de perdas de geração.

<i>Dados técnicos do inversor</i>	<i>EGT 13000 Max</i>
	Entrada (CC)
Potência máxima (W)	15600
Tensão máxima (V _{cc})	1100
Tensão de inicialização (V)	160
Tensão nominal (V)	600
Corrente máxima por string	10 A
Número de string	3
	Saída (CA)

Potência máxima (VA)	13000
Potência máxima aparente (VA)	14300
Tensão nominal (V)	220/380 V
Corrente máxima de saída	20,6 A

Fonte: Autor, 2021.

Dimensionamento dos cabos e sistema de proteção

Os cabos seguem o que prevê a norma NBR 5410 para dimensionamento de condutores, dessa forma para o segmento de corrente contínua será escolhido o cabo 6 mm² de alumínio com proteção contra radiação ultravioleta, no segmento de corrente alternada serão usados cabos elétricos de 4 mm² flexível de cobre.

O inversor já apresenta um sistema de proteção interna para a corrente contínua. Na seção de saída do inversor será colocado uma string box CA composto de um disjuntor tripolar curva C de 25 A e conjunto com 4 DPS 25k 1000 V. O sistema fotovoltaico (placas, inversor e estrutura) será conectado a um sistema de aterramento equipotencial conforme recomendação da Norma Técnica 020 (NT-020-Normas e Padrões Conexão de Microgeração Distribuída ao Sistema de Distribuição) de equatorial energia, que prever uma haste de cobre de 10 mm de diâmetro por 2400 mm de comprimento cravada no solo.

Dimensionamento das estruturas de suporte

Os trilhos de suporte serão de alumínio com parafusos tipo perfurante dedicado a telhados fibrocimento, cada par de trilho atende 4 módulos, dessa forma serão necessário 11 pares de trilhos. São necessário 3 pares de perfurantes por par de trilho e 10 grampos de fixação de placas por par de trilho, diante disso, o projeto necessita de 110 grampos de fixação 33 pares de perfurantes para telhado fibrocimento. Isso representa uma carga adicional de 1.009,38 kg sobre o telhado, incluindo os painéis.

Custo da planta instalada

Foram realizados orçamentos no mês de janeiro e fevereiro do ano de 2021 em lojas do segmento fotovoltaico com atuação na cidade de Novo Progresso-PA. Os requisitos para cotação de preços estão disponibilizados na tabela 05

Tabela 05 –Requisitos de orçamento.

Equipamen to	Marca	Unidade	Quantida de
Módulo fotovoltaico 340W	-	Unit	42
Inversor Intelbras 13kWp	Intelbras		1
Perfil metálico (par)	-	Unit	11
Estrutura de fixação (par de trilhos, parafusos, grampos)	-	Kit	11
Cabos solar vermelho ECS 6 mm ²	-	m	100
Cabos solar preto ECS 6 mm ²	-	m	100
Conector mc4	-	Par	3
Serviços de instalação (cabos CA, string box, projeto, instalação e legalização)	-	-	-

Fonte: Autor, 2021.

Com os requisitos do projeto definidos, foram consultadas 3 empresas do segmento e solicitado os valores. No período de solicitação dos valores, a cotação do dólar estava entre R\$ 5,37 e R\$ 5,36. O resultado da pesquisa de preços está exposta no quadro abaixo.

Tabela 06 – Cotação de preços.

Empresa 01	R\$ 66.408.46
Empresa 02	R\$ 68.711.18
Empresa 03	R\$ 62.100.60
Valor médio	R\$ 65.740,08

Fonte: Autor, 2021

Avaliação financeira

Após a cotação dos preços foi identificado um custo médio de implantação do projeto de R\$ 130.740,08. Para avaliação econômica foi aplicado um as técnicas de payback descontado e TIR. O sistema fotovoltaico tem prazo de validade de 25 anos, logo o investimento será avaliado do ano 0 até o ano 25, foi estimado que a economia anual na conta de energia será de R\$ 13.200,00.

A tabela 07 mostra os resultados de fluxo de caixa descontado.

Tabela 07 – Fluxo de caixa do investimento.

Ano	Investimento		Playback descontado		Fluxo de caixa	
0	-R\$	65.740,08	-R\$	65.740,08	-R\$	65.740,08
1	R\$	13.200,00	R\$	12.692,31	-R\$	53.047,77
2	R\$	13.200,00	R\$	12.204,14	-R\$	40.843,63
3	R\$	13.200,00	R\$	11.734,75	-R\$	29.108,88
4	R\$	13.200,00	R\$	11.283,42	-R\$	17.825,46
5	R\$	13.200,00	R\$	10.849,44	-R\$	6.976,03
6	R\$	13.200,00	R\$	10.432,15	R\$	3.456,13
7	R\$	13.200,00	R\$	10.030,92	R\$	13.487,04
8	R\$	13.200,00	R\$	9.645,11	R\$	23.132,15
9	R\$	13.200,00	R\$	9.274,14	R\$	32.406,30
10	R\$	13.200,00	R\$	8.917,45	R\$	41.323,74
11	R\$	13.200,00	R\$	8.574,47	R\$	49.898,21
12	R\$	13.200,00	R\$	8.244,68	R\$	58.142,89
13	R\$	13.200,00	R\$	7.927,58	R\$	66.070,47
14	R\$	13.200,00	R\$	7.622,67	R\$	73.693,14
15	R\$	13.200,00	R\$	7.329,49	R\$	81.022,63
16	R\$	13.200,00	R\$	7.047,59	R\$	88.070,22
17	R\$	13.200,00	R\$	6.776,53	R\$	94.846,75
18	R\$	13.200,00	R\$	6.515,89	R\$	101.362,64
19	R\$	13.200,00	R\$	6.265,28	R\$	107.627,92
20	R\$	13.200,00	R\$	6.024,31	R\$	113.652,23
21	R\$	13.200,00	R\$	5.792,60	R\$	119.444,83
22	R\$	13.200,00	R\$	5.569,81	R\$	125.014,64
23	R\$	13.200,00	R\$	5.355,59	R\$	130.370,23
24	R\$	13.200,00	R\$	5.149,60	R\$	135.519,83
25	R\$	13.200,00	R\$	4.951,54	R\$	140.471,38

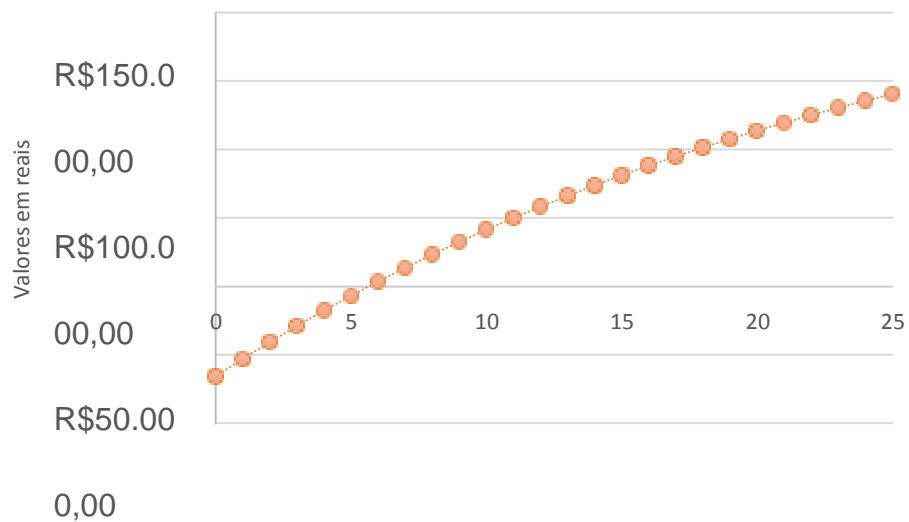
Fonte: Autor, 2021

A análise de taxa interna de retorno -TIR apresentou resultado de 19,86%, nessas condições o investimento é considerado viável economicamente, uma vez que a taxa mínima de atratividade imposta foi de 4% a.a. o que corresponde a uma taxa similar a inflação anual brasileira. O gráfico da figura 15 apresenta o resumo dos dados de payback do projeto.

Figura 15 – Retorno financeiro do investimento.

R\$200.000,00

Retorno financeiro



R\$-R\$(50.000,00)

R\$(100.000,00)
Tempo de anos

Conforme o gráfico da figura 15, observa-se que o retorno desse investimento se dar por volta de 5 anos e 10 meses. Os valores de economia do custo com despesa de energia no final do ciclo somam R\$ 140.471,38.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa concluiu que a alternativa fotovoltaica se mostra eficiente quando aplicada de maneira inteligente em sistema on grid. O projeto desenvolvido para a Faculdade Metodista Conexional, tem custo aproximado de implantação de R\$ 130,00, cujo seu retorno foi estimado em 5 anos e 10 meses.

Os valores de economia acumulada ao longo dos anos de existência dos equipamentos (25 anos) atingem a marca de R\$ 140.471,38, sendo calculada taxa interna de retorno de 19,86 %. O estudo concluiu que o investimento é viável economicamente.

BLOCO C DA FACO TOTAL DE 69 PLACAS



PLACAS INSTALADAS FACO



ÁREA DE ATENDIMENTO DA FACULDADE DE CONSUMO



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica / Agência Nacional de Energia Elétrica. 2. ed – Brasília : ANEEL, 2016. Disponível em: https://www.silvaporto.com.br/wp-content/uploads/2017/09/MICRO_MINI_GERACAO_DISTRIBUIDA.pdf. Acesso: 12 de fev. 2021;

BRASIL. LEI Nº 9.427, DE 26 DE DEZEMBRO DE 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9427compilada.htm. Acesso em: 13 de jan. de 2021;

CEPEL. Cresesb - Centro de Referência Para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. Cepel - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (org.). Potencial Solar - SunData v3.0: Cidade de Novo Progresso-PA. 2020. CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica- Rio de Janeiro - RJ. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em: 11 jan. 2021;

Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). Balanço Energético Nacional 2017: Anobase 2016 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2017. Disponível em: https://www.silvaporto.com.br/wp-content/uploads/2017/09/BALANCO_ENERGETICO_NACIONAL_2017.pdf. Acesso: 15 de fev. 2021;

EQUATORIAL ENERGIA. NT.020.EQTL.NORMAS E PADRÕES: CONEXÃO DE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO. 2 ed. 2019. 84 p. Disponível em: <https://pa.equatorialenergia.com.br/wp-content/uploads/2019/11/NT-020-EQTL-Normas-e-Padrees-Conexao-de-Microgeracao-Distribuida-ao-Sistema-de-Distribuicao.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2021;

FONTES, Ruy. O Que É Energia Solar? Menos de 5 Minutos Para Você Aprender Tudo Sobre a Tecnologia. 2020. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/o-que-e-energia-solar>. Acesso em: 10 jan. 2021;

GOETZE, Felipe. PROJETO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL: ESTUDO DE CASO. 2017. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre -RS, 2017. Cap. 4. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/73690692/energia-solar>. Acesso em: 19 jan.

2021;

HAMILTON, Calvin J. O Sol. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/ast/solar/portug/sun.htm>, UFRGS – 1997. Acesso: 15 de fev.2021;

INTELBRAS SOLAR (Santa Catarina) (comp.). Ficha técnica inversores intelbras trifásico: EGT 10000, EGT 13000 e EGT 15000. Florianópolis, 2020. 2 p. Disponível em: http://backend.intelbras.com/sites/default/files/2020-12/Datasheet_EGT_10k_15k_MAX-R9_0.pdf. Acesso em: 15 mar. 2021;

LEWGOY, Júlia. Mercado aumenta projeção para inflação em 2021 pela 7ª semana seguida, aponta Focus. Portal Valor investe: Brasil e política. Disponível em: <https://valorinveste.globo.com/mercados/brasil-e-politica/noticia/2021/03/01/mercado-aumenta-projecao-para-inflacao-em-2021-pela-7a-semana-seguida-aponta-focus.ghtml>. Acesso: 21 de mar. 2021;

MSA Solar. Proposta de orçamento nº. PROJ2101113057.pdf. Acesso: 30/01/2021;

PORTAL SOLAR (São Paulo) (org.). Célula solar fotovoltaica. 2020. Portal Solar. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>. Acesso em: 20 jan. 2021, acesso 11/01/2021;

Portal ILUMISOL Energia Solar. Orçamento nº 214936.pdf. Acesso: 28/01/2021;

Portal Neosolar. Cotação de preços no site. Disponível: <https://www.neosolar.com.br/loja/checkout/cart/>. Acesso: 26 de mar. 2021;

Portal Recurso Solar. Conhecimento Básico sobre o Recurso Solar. Disponível em: http://recursosolar.geodesign.com.br/Pages/Sol_Rad_Basic_RS.html. Acesso em: 26 mar. 2021;

Portal WA Solar. Melhor direção e inclinação do painel solar fotovoltaico. Disponível em: <http://www.wasolar.com.br/melhor-direcao-e-inclinacao-do-painel-solar#:~:text=J%C3%A1%20as%20perdas%20direcionais%20para,muito%20grandes%2C%20portanto%20inv%3%A1vel%20economicamente>. Acesso: 26 mar. 2021;

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna de; RÜTHER, Ricardo. Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos-SP:Inpe, 2006. 64 p. Disponível em: http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/05.04.14.11/doc/atlas_solar-reduced.pdf?metadatarpository=sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/05.04.14.11.10&mirror=cptec.inpe.br/walmeida/2003/04.25.17.13. Acesso em: 30 jan. 2021;

PEREIRA, André Belmont; VRISMAN, Augusto Leandro; GALVANI, Emerson. Estimativa da radiação solar global diária em função do potencial de energia solar na superfície do solo. Scientia Agricola, [S.L.], v. 59, n. 2, p. 211-216, jun. 2002. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-90162002000200002>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162002000200002. Acesso em: 15 mar. 2021;

SILVA, Renan Rodrigues. Deficiências no Planejamento e Execução de Obras no Campus Central da UFRN. 2016. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do

Norte-UFRN, Natal-RN, 2016. Cap. 8. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/56805691/tcc-renan-rodrigues-silva-final>. Acesso em: 25 jan. 2021.