GERAÇÃO FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL: UMA REALIDADE PROMISSORA

RESIDENTIAL PHOTOVOLTAIC GENERATION: A PROMISING REALITY

[1] Felipe de Paula Mourão
[1] Matheus de Matos Furlanis
[2] Annete S. Faesarella
Universidade São Francisco – *Câmpus* Itatiba
matheus.furlanis@mail.usf.edu.br | felipepmourao@gmail.com |
annete.faesarella@usf.edu.br

[1]Alunos do Curso de Engenharia Elétrica
[2] Professor Orientador

RESUMO

O presente trabalho traz um estudo de viabilidade técnica e comercial a partir da implementação de um sistema de geração de energia solar fotovoltaica em uma residência. O projeto aqui apresentado é totalmente fundamentado em bases de cálculo, tendo como parâmetros principais: escopo, valores e resultados reais. Além de estar utilizando uma fonte de energia renovável, o que contribui para sustentabilidade abordada atualmente, também busca-se apresentar a vantagem do uso deste recurso no dia a dia. Toda esta análise se baseia em cálculos de *payback*, o que gera uma maior atratividade aos olhos da sociedade.

PALAVRAS-CHAVE: Geração de energia, Energia fotovoltaica, Energia renovável, *Payback.*

ABSTRACT

This academic study brings a technical and comercial feasibility analysis from an implementation of a photovoltaic system on a residence. The introduced project is totally based on real calculation, and it uses the following aspects: scope, values and real results. In addition of being a renewable energy source, which contributes to the sustainable enviroment, it looks foward to the vantages that this resource can give for the users. All this information is based on a payback calculation, that generate a better attractivy to the society view.

KEYWORDS: *Power Generation, Photovoltaic power, Renewable energy, Payback*

INTRODUÇÃO

Segundo os dados da *International Energy Agency* (IEA, 2017), o Brasil é destaque internacional na geração de energia renovável e ocupa atualmente a terceira posição no *ranking*, com evidência para a energia hidroelétrica que representa 9% da geração mundial. Este tipo de energia pode ser considerada uma das mais importantes no mundo atual. Além de ser uma fonte de energia limpa, que se encontra em abundância e pode ser renovada no meio ambiente, gera menos impacto ambiental. No entanto, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), as projeções de demanda de energia para o

período de 2013 a 2050 tendem a aumentar pouco mais de duas vezes (EPE, 2016). Deste modo, há a previsão de que a demanda de energia para o ano de 2050 será, provavelmente, o dobro da demanda utilizada em 2013. Assim conclui-se que a produção brasileira atual de energia é insuficiente para atender a demanda projetada para os próximos anos.

Dentre as opções de utilização de recursos renováveis para a geração de energia elétrica, a energia solar fotovoltaica apresenta um grande potencial no Brasil. Os piores indicadores de irradiação solar do país estão na região Sul com média de 1600 kwh/m², que supera inclusive, o local mais ensolarado da Alemanha com média de 1300 kwh/m² (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017).

A energia fotovoltaica expressa-se como uma solução vantajosa e a instalação de um sistema para gerar esse tipo de energia pode possuir um custo elevado. Porém, o ganho gerado no consumo de energia elétrica ao longo do tempo se torna superior ao investimento inicial.

Para calcular o *payback* gerado por meio do sistema fotovoltaico, se utiliza dados coletados em uma instalação real com base em um histórico de contas de energia. A partir desta informação, uma análise é realizada por meio de cálculos de dimensionamento do sistema de geração fotovoltaico que resultará no valor a ser investido.

Contudo a grande viabilização da utilização de energia fotovoltaica implica diretamente na redução do custo de energia elétrica e diminui a demanda por energia produzida via meios tradicionais (hidroelétricas, geração de energia nuclear, energia eólica), representando um ganho contínuo após a obtenção de um sistema fotovoltaico. Independente do custo de instalação do sistema de geração, no médio/longo prazo, a possibilidade de ser um investimento rentável é elevada.

Neste contexto, este presente estudo tem por objetivo comparar o custo de energia elétrica em uma residência que possui um sistema de geração fotovoltaico com uma casa que não possui esse sistema. Para isso, será realizado uma revisão sistemática de artigos científicos, teses e dissertações que exploraram sobre o tema, evidenciando os benefícios que a instalação do sistema de geração fotovoltaico pode trazer ao usuário.

REFERENCIAL TEÓRICO

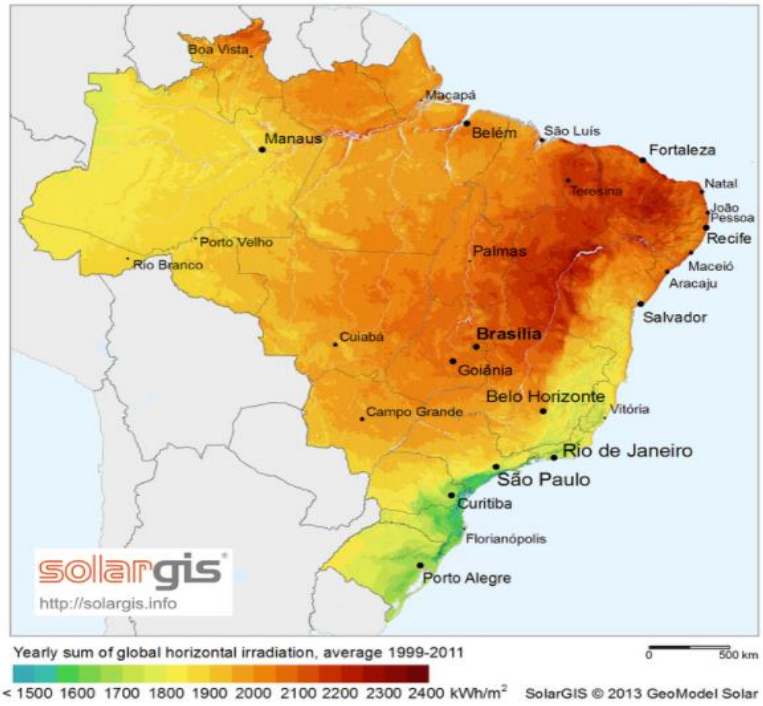
Funcionamento do sistema de geração de energia

A energia solar é uma energia limpa e renovável. Como o próprio nome já diz, esta energia é proveniente do Sol, que através de meios de captação da radiação solar gera energia.

O sistema de geração de energia solar fotovoltaica utiliza placas solares como meio de captação da radiação solar, que através do efeito fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua ou conhecida também como DC (Direct Current).

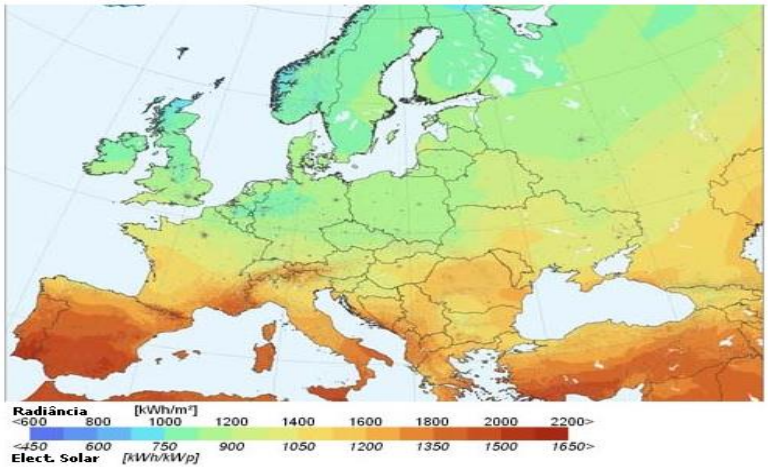
O Brasil possui um índice de radiação solar muito alto, quando comparado a muitos países do continente europeu. Com isso, pode-se concluir que a radiação no Brasil é um fator que contribui para o crescimento deste tipo de geração de energia, pois quanto maior a radiação captada, maior será a eficiência das placas solares e um menor número de placas será utilizado para gerar a mesma quantidade de energia, que por consequência benéfica, torna o custo de investimento mais acessível. Nas Figuras 1 e 2 observa-se o índice de radiação solar no Brasil e na Europa, respectivamente.

Figura 1 – Radiação Solar no Brasil



Fonte: Adaptado de Cosol apud SolarGis[1], 2013

Figura 2 – Radiação solar no continente Europeu



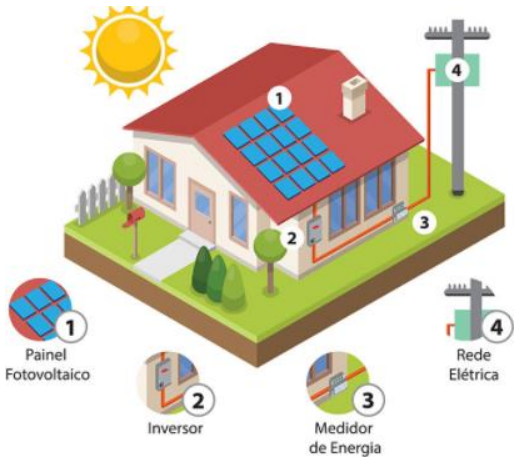
Fonte: Eletrônica PT apud European Comunities[2], 2006 - Joint Research Center

Após a captação dos raios solares e a transformação de energia solar em corrente DC, através do efeito fotovoltaico, esta energia é direcionada para o inversor de potência. O inversor tem por objetivo converter corrente DC em corrente AC (A*lternating Current*), que normalmente é utilizada em residências e empresas. Posteriormente esta energia passará por um painel de proteção, contendo relés, chaves seletoras e protetores de surto, que irá garantir o bom funcionamento do sistema em situações adversas. Somente depois deste processo, a energia passará pelo medidor bidirecional de energia da concessionária, que promove a medição de kwp (quilo Watt pico) injetados na rede elétrica. A Figura 3 mostra o esquema de funcionamento de um sistema fotovoltaico.

[1] Disponível em: <https://cosol.com.br/radiacao>. Acesso em: 27 abr. 2021.

[2] Disponível em: <https://www.electronica-pt.com/mapas-radiacao-solar>. Acesso em: 27 abr. 2021.

Figura 3 – Esquema de funcionamento do sistema fotovoltaico



Fonte: Eletron Energia[3]

Mensalmente a energia gerada será convertida em créditos pela concessionária de energia, que posteriormente será abatido da quantidade de energia consumida. Caso a energia gerada seja maior que a energia consumida, a unidade de consumo irá acumular créditos para os próximos meses. Desta forma ficam claros os benefícios produzidos pela geração de energia elétrica a partir da energia solar.

Medidores de energia

Os medidores de energia são instrumentos instalados na entrada/saída de energia de um consumidor, seja uma residência ou até mesmo a maior das indústrias. Como seu próprio nome diz, tem a função de medir a quantidade de energia consumida, ou também medir a energia injetada na rede da concessionária. Existem dois tipos de medidores, sendo eles digitais e eletromecânicos.

Um dos componentes que completam um sistema de geração de energia solar é um medidor de energia bidirecional (Figura 5), ou seja, em vez de medir apenas a energia consumida da rede, também mede a energia injetada. Normalmente encontram-se instalados em residências e empresas, medidores apenas de consumo.

Figura 5 – Medidor digital bidirecional com valores de energia injetada (código 103 – lado direito) e energia consumida (código 003 – lado esquerdo) retirada em uma residência na cidade de Jundiaí, São Paulo

[3] Disponível em: <https://www.eletronenergia.com.br/simulador-de-energia-solar-fotovoltaico/>. Acesso em: 27 abr. 2021.

Fonte: Próprio autor

Desta forma, torna-se crucial a substituição do medidor padrão para um medidor bidirecional, no momento em que é instalado um sistema de geração de energia solar. Esta substituição é feita pela própria concessionária de energia após toda instalação.

Bandeiras tarifárias

As bandeiras tarifárias presentes nas contas de energia de todos os brasileiros é um sistema de sinalização do preço da energia atual. A principal fonte de geração de energia em nosso país é formada pelas usinas hidroelétricas, sendo elas as que possuem menor custo de energia gerada (neste caso, não terá nenhum tipo de acréscimo sobre a tarifa em bandeira verde). Por outro lado, também existe a geração de energia elétrica por meio de termelétricas, que são fontes de energia normalmente mais caras e são ligadas somente quando necessário, por exemplo, as usinas nucleares. Neste caso, podendo ter acréscimo de até R$0,06 por kwh sobre a tarifa padrão de cada consumidor (CPFL Energia[4]), conforme Figura 6.

De acordo com o *website* GetPower Energi Solar[5], as fontes de energia utilizadas são primordiais para que a ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) avalie mensalmente a utilização dos métodos de geração para suprir a demanda do país. Desta forma, são previstos os custos de geração e repassados aos consumidores em forma de bandeiras tarifárias.

Figura 6 – Bandeira tarifária e seus respectivos acréscimos

Fonte: CPFL Energia

As empresas e residências que possuem um sistema de geração de energia solar instalado também serão cobradas de acordo com as bandeiras tarifárias de cada mês. Porém, neste caso, podem-se considerar as bandeiras como um benefício, pois a energia gerada pela unidade será injetada na rede e será tarifada de acordo com a bandeira de cada mês, conforme Figura 7.

Figura 7 – Créditos de energia sobre uma bandeira amarela

[4] Disponível em: < https://www.cpfl.com.br/atendimento-a-consumidores/bandeira-tarifaria/Paginas/default.aspx>. Acesso em 29 mar. 2021.
[5] Disponível em: <https://getpowersolar.com.br/blog/bandeiras-tarifarias/>. Acesso em: 24 abr. 2021.

13207-350 JUNDIAI - SP

ATENDIMENTO	PN	SEU CÓDIGO	CONTA MÊS
0800 010 2570 www.cpfl.com.br	[redacted]	INSTALAÇÃO [redacted]	MAR/2021

DISCRIMINAÇÃO DA OPERAÇÃO - RESERVADO AO FISCO

Cod. 115	Descrição da Operação Nº 912601588072	Mês Ref.	Quant. Faturada	Unid. Med.	Tarifa com Tributos R$	Valor Total da Operação R$	Base Cálculo ICMS R$
0605	Energia Ativa Fornecida - TUSD	MAR/21	273,000	kWh	0,39241759	107,13	107,13
0601	Energia Ativa Fornecida - TE	MAR/21	273,000	kWh	0,37809524	103,22	103,22
0601	Adicional de Bandeira Amarela	MAR/21				5,28	5,28
0605	Energia Ativa Injetada TUSD	MAR/21	214,000	kWh	0,29429907	62,98-	
0601	Energia Ativa Injetada TE	MAR/21	214,000	kWh	0,37808412	80,91-	80,91-
0605	Energ Atv Inj. mUC mPT - TUSD	NOV/20	9,000	kWh	0,29444445	2,65-	
0601	Energ Atv Inj. mUC mPT - TE	NOV/20	9,000	kWh	0,37666667	3,39-	3,39-
0601	Cred Adc Band Amarela	MAR/21				4,31-	4,31-
0804	Juros de Mora	FEV/21				0,22	
0805	Multa por Atraso Pgto	FEV/21				1,17	
0805	Atualização Monetária	FEV/21				0,58	
	Total Distribuidora					63,36	
	DÉBITOS DE OUTROS SERVIÇOS						
0807	Contrib. Custeio IP-CIP Municipal	MAR/21				8,59	

Fonte: Próprio autor

Na Figura 7, observa-se que o custo adicional referente às tarifas amarelas é descontado da mesma forma para a energia gerada injetada na rede.

Normas e regulamentações

Hoje existem em nosso país duas normas regulamentadoras com relação à geração de energia solar. Sendo elas a Resolução Normativa ANEEL nº 482 do ano de 2012 e a Resolução Normativa ANEEL Nº 687 de 2015. Para entender melhor sobre as normas, primeiramente se faz necessário definir o que é cada grupo consumidor de energia existente. Existe o grupo A e grupo B de consumo.

O grupo A trata dos consumidores de energia do ramo empresarial, como indústrias e empresas de médio e grande porte. Para este grupo, a unidade consumidora contrata uma demanda de energia a ser consumida durante todo o mês. Caso a energia consumida ultrapasse a demanda contratada, o cliente irá pagar uma tarifa de energia maior sobre a energia consumida. Também se faz importante saber que existem duas tarifas de energia, sendo um "horário fora-ponta" e o outro "horário de ponta". A primeira está relacionada com a energia consumida no período matutino, portanto mais barata, e a segunda em período noturno, por consequência de um maior número de pessoas estar consumindo energia concomitantemente, tornando-a mais cara, como mostra a Figura 8. Com isso, nota-se que uma conta de energia do grupo A é composta resumidamente por consumo de energia em horário de ponta e fora-ponta, bem como da demanda contratada.

Figura 8 – Conta de energia com os respectivos valores de tarifas e demandas

CCI*	Descrição do Produto	Leitura Anterior	Leitura Atual	Constante Multiplic.	Quant. Registrado	Quant. Residual	Quant. Faturado	Tarifa Fornec.	Valor Fornec.
0601	CONSUMO PONTA TE kWh	905261	32661	0,030	3917,00	2533,00	6450,00	0,390046	2.515,79
0601	CONSUMO PONTA TUSD kWh	905261	32661	0,030	3917,00	2533,00	6450,00	0,967210	6.238,50
0601	CONSUMO FORA PONTA TE kWh	43449	55612	3,000	37401,00	18090,00	55491,00	0,257365	14.281,44
0602	CONSUMO FORA PONTA TUSD kWh	43449	55612	3,000	37401,00	18090,00	55491,00	0,035291	1.958,33
0601	CONSUMO REAT.FORA PONTA TE kWh	3048.16	3050	3,000	5,00	0,00	5,00	0,268420	1,34
0601	DEMANDA TUSD kW	64687	65891	0,120	148,09	0,00	148,09	15,988000	2.367,66
0602	DEMANDA ULTRAP. TUSD kW				0,00		18,09	31,976000	578,44
0601	AD.B.AMAR. kWh						61941,00	0,013341	826,36
0601	AD.B.VERM. kWh						61941,00	0,009988	618,69
	CONSUMO kWh	52501	65939	3,000	41321,00	20620,00			
	DEMANDA PONTA kW	13380	14567	0,120	146,00	0,00			
	ENERGIA REAT EXC kWh	3097	3099	3,000	6,00	0,00			
	ENERGIA REAT EXC P kWh	4871	4871	0,030	0,00	0,00			
	DEMANDA REAT.EXED. kW	42398	46937	0,030	139,57	0,00			
	DEMANDA REAT.EXED. kW	241760	246470	0,030	144,83	0,00			
0699	COFINS								
0699	PIS								
0699	COBRANCA ILUM PUBLICA PARA A PREFEITUR								
0699	REPASSE AO GOV. FED. POR DECISAO J 35/42								
	Total								29.386,55

Fonte: Adaptado de Elektro[6]

O grupo B se refere aos consumidores comuns, como residências e estabelecimentos pequenos, em que o nível de consumo de energia fica abaixo de 2,3kV. Neste grupo, o consumo de energia é cobrado de acordo com o montante de energia consumida no mês com uma tarifa fixa, ou seja, a unidade consumidora paga a energia que consumiu no mês.

A partir destes pontos, pode-se compreender a primeira norma regulamentadora (ANEEL 482, 2012) para sistema de geração de energia fotovoltaica. A norma informa três pontos importantes, sendo eles: sistema de compensação de energia elétrica, dimensionamento de sistema por grupo de consumidor e taxa mínima para cada grupo consumidor.

O sistema de compensação de energia trata de uma sistemática em que o consumidor gera a energia e injeta na rede da concessionária, assim produzindo créditos de energia que posteriormente serão abatidos da conta referente ao mês. Estes créditos têm a seguinte relação:

1kwh/R$ consumido = 1kwh gerado pelo sistema [1]

Esta norma também regulamenta que o dimensionamento do sistema de consumidores de grupo A deve ser feito com base apenas na demanda contratada, ou seja, a potência do inversor do sistema deve ser equivalente à potência contratada pelo consumidor. Para unidades consumidoras do grupo B, o dimensionamento é feito com base no consumo mensal, com isso não possui um fator limitante como o grupo A.

Por último, foi estabelecido que mesmo que unidade consumidora gere toda a energia que consome, ela terá que arcar com uma taxa mínima (custo de disponibilidade). Esta taxa pode mudar de acordo com o grupo de consumo e o tipo de ligação de energia. Para o grupo A a taxa mínima a ser cobrada é a quantidade de demanda contratada multiplicada pelo preço dela. Para o grupo B, depende da ligação da residência ou estabelecimento. Caso a ligação do estabelecimento seja monofásica serão cobrados 30kwh, para ligações bifásicas é cobrado 50kwh e para trifásicas 100kwh.

A segunda resolução normativa estabelecida (ANEEL 687, 2015) considera mais alguns benefícios aos consumidores que geram a própria energia. São eles: Sistema com múltiplas unidades consumidoras, geração compartilhada e consumo remoto.

- Os sistemas de geração de energia com múltiplas unidades consumidoras referem-se a um grupo de consumidores que juntos decidem montar um sistema de geração que atende a todos eles. Um exemplo desta aplicação seria um condomínio de casas, onde os moradores em conjunto instalam um sistema de geração em cada casa que irá contribuir injetando energia na rede, que consequentemente irá gerar créditos para o condomínio no fim do mês e assim descontar os créditos na conta de energia de cada morador.
- Também há a possibilidade de compartilhar a energia gerada em uma unidade consumidora com outra unidade consumidora de localidade diferente. Porém se faz necessário que as unidades consumidoras façam parte da mesma concessionária de energia. Para isso, deve-se estabelecer um contrato junto com a concessionária, pois mais de um CPF/CNPJ será beneficiado pelo mesmo sistema de geração.
- Por último o consumo remoto, que possibilita uma unidade consumidora que não possui espaço para tal aplicação, gerar energia em uma determinada localidade, porém o consumo pode ocorrer em outra.

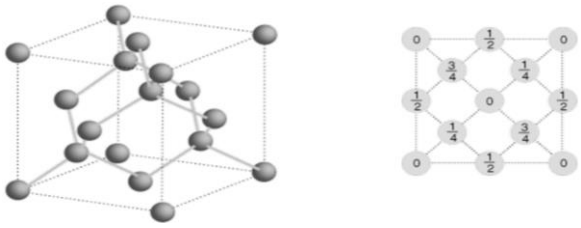
[6] Disponível em: <https://www.elektro.com.br/seu-negocio/conheca-sua-conta>. Acesso em: 28 abr. 2021.

Painéis fotovoltaicos

As placas solares são equipamentos que têm como objetivo realizar a conversão dos raios solares em energia elétrica. Esses módulos solares fotovoltaicos utilizam uma reação química para produzir eletricidade, ou seja, eles transformam energia eletromagnética em energia elétrica. Pode-se também tratá-los como dispositivos semicondutores que geram corrente elétrica quando expostos à luz (MARQUES; KRAUTER; LIMA, 2009).

O silício (Si) é um dos materiais mais utilizados na fabricação de placas solares, devido a sua característica química (Figura 10), possuindo 4 elétrons de valência. Essa característica torna possível a realização de 4 ligações covalentes, que ocorrem quando átomos pentavalentes (5 elétrons de valência) entram na rede cristalina. Esses átomos pentavalentes (por possuírem um elétron a mais que o necessário para formar a ligação covalente) liberam com uma baixa quantidade de energia o elétron extra para a camada de condução (1,12 eV no caso do silício) (MARQUES; KRAUTER; LIMA, 2009).

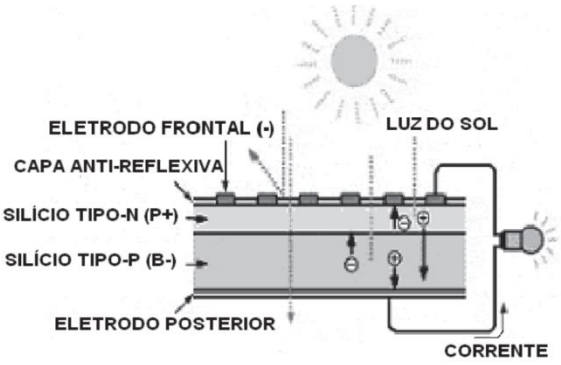
Figura 10 – Estrutura cristalina do Silício



Fonte: Adaptado de Professor Petry[7]

A formação de um campo elétrico na região de junção acontece quando um cristal do tipo N (doador de elétrons - pentavalente) se une a um cristal do tipo P (aceitador de elétrons - trivalente), ocorrendo a formação de uma junção do tipo N-P. Essa união gera uma carga positiva em N e uma carga negativa em P, gerando assim o campo elétrico, conforme esquema mostrado na Figura 11 (SWART, 2008).

Figura 11 – Esquema de uma célula fotovoltaica



Fonte: MARQUES; KRAUTER; LIMA, 2009

No nível atômico a presença de luz atua como um fluxo de partículas chamadas fótons. Quando a junção N-P é atingida pela luz, os fótons são absorvidos por parte dos elétrons (efeito

[7] Disponível em: <https://professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia_UFSC/Materiais_EEL_7051/4_Semicondutores_de_silicio.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2021.

fotoelétrico), fazendo com que alguns elétrons deixem a banda de valência e passem para a de condução (SWART, 2008).

Esses elétrons, que atingiram a banda de condução, “caminham” pelo semicondutor até serem atraídos pelo campo elétrico presente na região de junção (Figura 11 retrata o fenômeno). Por meio de uma ligação externa, os elétrons são levados para fora da célula e assim produzindo corrente elétrica. A cada elétron que evade a célula, outro retorna para substituí-lo. Deste modo, fica claro que uma célula fotovoltaica não pode armazenar energia elétrica, sendo necessário a utilização de baterias quando o sistema for autônomo (sistema independente da rede de eletricidade convencional) ou então interligar o módulo à rede elétrica quando o sistema for híbrido (operam em conjunto com a rede elétrica) (MARQUES; KRAUTER; LIMA, 2009).

A homologação de painéis fotovoltaicos no Brasil ocorre por meio da certificação realizada pelo Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), que tem como objetivo garantir que uma empresa seja responsável pelo equipamento no país. Para que o painel receba o certificado, é realizada a medição de potência, eficiência, tensão e corrente do painel solar (*Flash-Test*).

Além do certificado Inmetro, é recomendável a utilização apenas de painéis que possuam a certificação internacional IEC 61215. A placa aprovada pelo IEC 61215 foi avaliada em 18 testes distintos, em que (além do *Flash-Test*) são analisados a robustez das terminações, resistência mecânica, resistência contra granizo, funcionamento em situações de temperatura elevada, análise de vida útil, teste de umidade e congelamento e mudanças abruptas de temperatura, resistência ao ar livre, desempenho da placa, verificação de segurança elétrica e análise de funcionamento em trabalho molhado (Portal Solar[8], 2021).

Por essa razão, é recomendável a utilização de painéis solares que possuem (além do selo obrigatório do Inmetro) o certificado internacional IEC 61215.

Existem dois principais modelos de placas solares, os painéis monocristalinos (figura 12) e os policristalinos (Figura 12). As placas fotovoltaicas monocristalinas possuem como característica uma cor uniforme, indicando silício de alta pureza e cantos normalmente arredondados. São produzidas a partir de um único cristal de silício ultrapuro, a partir do processo de corte desse cilindro em lâminas de silício individuais. As lâminas individuais são tratadas e transformadas em células fotovoltaicas. As células desse modelo de painel possuem eficiência média de 15% a 22% (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

Por outro lado, as placas policristalinas possuem como característica de produção a fundição dos cristais de silício em um bloco, mantendo assim a formação de múltiplos cristais. Após o processo de fundição, os blocos são cortados em quadrados e, em seguida, fatiados em células. As células desse modelo de painel possuem eficiência média de 14% a 20% (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

Figura 12 – Painéis monocristalino e policristalino, respectivamente

[8] Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/o-certificado-do-painel-solar---saiba-o-que-voce-esta-comprando.html>. Acesso em: 30 mar. 2021.

Fonte: Adaptado de HEPEL Energia Solar[9]

Devido aos painéis fotovoltaicos monocristalinos possuírem uma maior eficiência, é recomendável a sua utilização.

A manutenção dos painéis solares se refere basicamente ao processo de limpeza das placas solares. Para que consigam atingir a sua plena eficiência, devem ser limpas dentro de um período máximo de um ano. Em regiões com baixo índice de chuva, é recomendável a limpeza das placas a cada 6 meses. Esse processo deve ser realizado com água, detergente e uma esponja não abrasiva (Energia Total[10], 2021).

Inversores de frequência

Os inversores de frequência, são utilizados para converter a energia CC (corrente contínua) em CA (corrente alternada), tornando possível utilizar a energia elétrica gerada pelo processo da energia fotovoltaica. Existem diferentes modelos de inversores, destinados a serem utilizados em aplicações distintas.

Os inversores *off grid* são utilizados em sistemas autônomos, ou seja, sistemas desconectados da rede elétrica. Eles estão presentes normalmente em fazendas e embarcações. Esse modelo de inversor utiliza baterias para armazenar a energia gerada pelas células fotovoltaicas. Os painéis fotovoltaicos são ligados em um controlador de carga que realiza a gestão da corrente elétrica que alimenta a bateria e o inversor. As tensões de entrada desse tipo de inversor, normalmente, variam entre 12V, 24V ou 48V (Share Energy[11], 2017).

O modelo de inversor *String* (Figura 13) é utilizado em sistemas de microgeração (até algumas dezenas de quilowatts) conectados à rede elétrica. Para obter a potência desejada, capaz de sustentar a aplicação, é possível realizar a montagem em paralelo de alguns inversores desse modelo. O inversor *String* fornece corrente elétrica alternada em sua saída e possui o sistema de proteção anti-ilhamento, que é responsável por desconectar o inversor da rede em caso de queda de energia da rede elétrica. É muito utilizado para sistemas de geração fotovoltaico em residências (Energes[12], 2020).

Figura 13 – Inversor String WEG SIW300H M020 retirada em uma residência na cidade de Jundiaí, São Paulo

[9] Disponível em: <https://hepel.com.br/monocristalino-vs-policristalino>. Acesso em: 28 abr. 2021.

[10] Disponível em: <https://www.energiatotal.com.br/qual-o-custo-de-manuten%C3%A7%C3%A3o-do-painel-solar>. Acesso em: 31 mar. 2021.

[11] O Que é o Inversor e Como Ele Funciona. Share Energy. Disponível em: <https://sharenergy.com.br/o-que-e-o-inversor-e-como-ele-funciona/>. Acesso em: 30 mar. 2021.

[12] Disponível em: < https://energes.com.br/fale-energes/inversor-solar-o-cerebro-do-sistema-fotovoltaico/>. Acesso em: 30 mar. 2021.

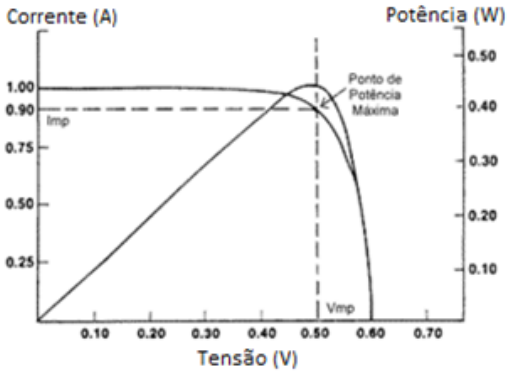
Fonte: Próprio autor

Inversores centrais são equipamentos utilizados em sistemas de grande porte, com potências acima de 100kwp. Modelo com foco para aplicações industriais e em usinas. O modelo de micro inversores se refere a equipamentos de baixa potência (abaixo de 1000W) que possuem como característica principal a otimização da energia gerada. Esse equipamento consegue esse feito devido aos módulos fotovoltaicos serem instalados individualmente em cada micro inversor. Deste modo, em caso de sombreamento parcial dos módulos, a geração de energia dos demais módulos não é afetada. É normalmente utilizado em telhados irregulares, porém aumenta o custo da aplicação (Share Energy, 2017).

É recomendável instalar o inversor o mais próximo possível das placas fotovoltaicas, com o objetivo de evitar perdas de energia que ocorrem na transmissão via cabos.

Os inversores de frequência possuem como característica a otimização da produção de energia, que é realizada pela função de "rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT – *Maximum Power Point Tracking*)". Essa função permite ao inversor realizar de forma instantânea a máxima extração de potência dos módulos fotovoltaicos. Isso ocorre por meio da variação de tensão de operação até o ponto em que o resultado da multiplicação da tensão pela corrente forneça a maior potência para aquele momento (Figura 14) (Share Energy[13], 2017).

Figura 14 – Curva IV com ponto de máxima potência MPPT



Fonte: Adaptado de Share Energy

Grande parte dos inversores atuais possuem um sistema de monitoramento integrado que permite o envio de informações de geração de energia via WI-FI para um computador ou celular, tornando eficiente a análise dos dados de geração.

METODOLOGIA

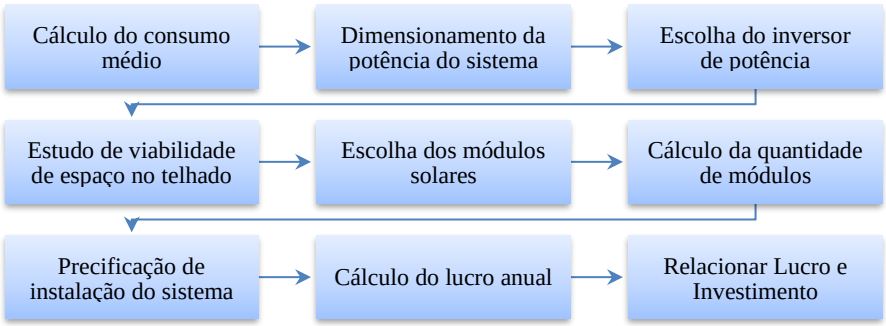
Considerações iniciais

Este estudo visa avaliar os custos com investimento de uma instalação de um sistema de geração fotovoltaico em uma residência comum (grupo B) e elaborar o cálculo do tempo de retorno deste investimento. Inicialmente, se faz necessário um breve dimensionamento do sistema, juntamente com um estudo de viabilidade da instalação de acordo com as condições do

[13] O Que é o Inversor e Como Ele Funciona. Share Energy. Disponível em: <https://sharenergy.com.br/o-que-e-o-inversor-e-como-ele-funciona/>. Acesso em: 30 mar. 2021.

local. Na Figura 15 é apresentado um fluxograma, qual observa-se os principais processos para desenvolvimento do estudo de caso.

Figura 15 – Fluxograma das etapas da metodologia do presente estudo



Fonte: Próprio autor

Dimensionamento e estudo de viabilidade

No início deve-se fazer o dimensionamento dos dois itens principais do sistema: a quantidade e potência das placas e a potência do inversor. Pode-se considerar para casos residenciais, em que se tem um baixo consumo de energia, utilizar apenas uma unidade do inversor. Para isso, se faz necessário a consulta de um histórico de consumo da unidade consumidora, que está presente em contas de energia de cada cliente, conforme Figura 16. A partir do histórico de consumo se faz o cálculo de consumo médio mensal, conforme Equação 2.

$$Consumo\ médio\ mensal\ (kwh)\ = \frac{\sum Consumo\ médio\ (kwh)}{Quantidade\ de\ meses} \quad [2]$$

Figura 16 – Histórico de consumo de uma residência apresentada em uma conta de energia da concessionária CPFL

Fonte: Próprio autor

Após obter o valor do consumo médio, se fará o cálculo da quantidade de módulos e a potência do inversor. Para isso, devem-se levar dois pontos em consideração. O primeiro é a potência dos módulos fotovoltaicos que estão disponíveis no mercado. Considerando os catálogos de fabricante Trina Solar, tem-se como exemplo dois tipos de módulos com eficiência máxima

em média de 20%, sendo um com potência de 340-375W[14] e o outro de 435-460W[15]. O segundo ponto se refere à potência dos inversores. Considerando o fabricante WEG, os inversores do modelo WEG SIW suportam um *overload* de 35% e possuem diversas classes de potência, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Relação de inversores do fabricante WEG e as respectivas potências e tipo de conexão.

Modelo do inversor	Potência (W)	Conexão à rede
Inversor String SIW200 - M085	8.500	Monofásico
Inversor String SIW200 - M100	10.000	Monofásico
Inversor String SIW500H - ST036	36.000	Trifásico
Inversor String SIW300H - M050 L1	5.000	Monofásico
Inversor String SIW500H - ST020 M3	20.000	Trifásico
Inversor String SIW300H - M060 L1	6.000	Monofásico
Inversor String SIW500H - ST030	30.000	Trifásico
Inversor String SIW500H - ST020	20.000	Trifásico
Inversor String SIW500H - ST040	40.000	Trifásico
Inversor String SIW300H - M030 L1	3.000	Monofásico
Inversor String SIW300H - M020 L1	2.000	Monofásico
Inversor String SIW500H - ST012	12.000	Trifásico
Inversor String SIW300H - M040 L1	4.000	Monofásico
Inversor String SIW500H - ST015	15.000	Trifásico
Inversor String SIW500H - ST060	60.000	Trifásico
Inversor String SIW500H - ST100 HV	100.000	Trifásico

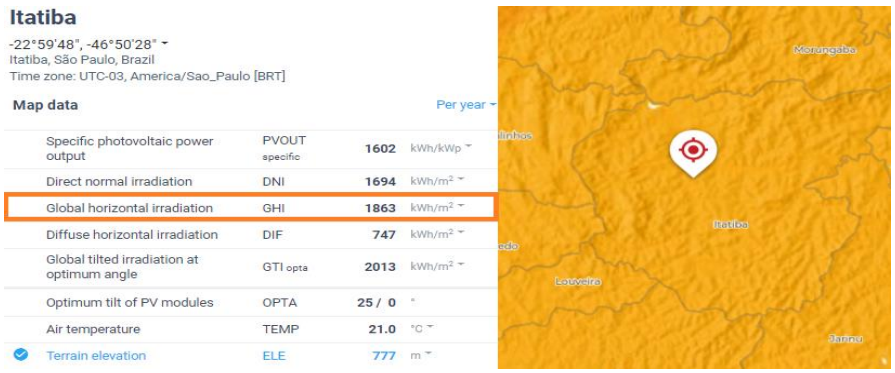
Fonte: Catálogo WEG de Nov/2020

Com isso, pode-se calcular a potência do sistema a partir da Equação 3:

$$Potência\ do\ sistema\ (kwp)\ =\ \frac{Consumo\ médio\ mensal\ (kwh)}{Eficiência\ (\%)\ *\ Radiação\ do\ local\ (kwh/m2)*\ 30\ (dias)}\ [3]$$

Pode-se conferir a radiação de qualquer lugar do mundo a partir do *website* Global Solar Atlas. Na Figura 17 tem-se um exemplo da radiação solar média na cidade de Itatiba, no estado de São Paulo.

Figura 17 – Radiação solar média na cidade de Itatiba/SP



[14] Disponível em: <*https://static.trinasolar.com/sites/default/files/EN_TSM_DE14A_II_Tallmaxplus_B_2017_web.pdf*>. Acesso em: 17 mai. 2021.

[15] Disponível em: <*https://static.trinasolar.com/sites/default/files/AU_Datasheet_TallmaxM_DE17M(II)_2020D.pdf*>. Acesso em: 17 mai. 2021.

Fonte: adaptado de Global Solar Atlas[16]

A partir da potência do sistema, pode-se extrair a quantidade de módulos fotovoltaicos que serão necessários. Neste momento deve-se escolher qual módulo utilizar. Para casos onde o telhado não possui espaço suficiente para todos os módulos de baixa potência, utiliza-se os módulos de maior potência, que por sua vez, possuem maior valor agregado e ocupam menor espaço gerando a mesma energia. Do contrário, quando não há restrições, utilizam-se os módulos de potência menor que acabam tendo melhor custo-benefício. Calcula-se a quantidade de módulos a partir da Equação 4.

$$Quantidade\ de\ Módulos\ = \frac{Potência\ do\ sistema\ (kwp)}{Potência\ dos\ módulos\ (kw)} \quad [4]$$

A escolha do modelo de inversor deve ser baseada na potência do sistema. Considerando como exemplo, um sistema de potência 6,3 kwp, de acordo com os equipamentos disponíveis, deve escolher um inversor de potência 5 kwp, pois o equipamento possui um *overload* de 35% e pode trabalhar até uma potência máxima de 6,75 kwp.

Por último, devem ser levantados os custos de todos os equipamentos e itens necessários para o correto funcionamento do sistema, como protetores de surto, cabos, chaves de proteção, relés e a estrutura para fixação dos módulos no telhado. Após levantar os custos de serviços profissionais agregados e dos materiais por uma empresa do segmento, é possível avaliar o tempo de *payback* para cada situação.

Cálculo do Payback

Para que seja possível identificar o tempo de retorno do investimento realizado em um sistema fotovoltaico é necessário realizar o cálculo de *Payback*. Esse cálculo tem como base o valor total investido e a geração de energia média mensal do sistema fotovoltaico. A média de retorno financeiro no Brasil é de 5 anos e a durabilidade estimada de um sistema fotovoltaico pode ser maior do que 25 anos (Globo G1[17]).

Com base na média mensal de geração elétrica e no valor da tarifa por kwh é possível calcular o valor médio mensal e anual economizado, segundo as Equações 5 e 6:

$$Lucro\ médio\ mensal(R\$) = Geração\ média\ mensal(kwh) * Tarifa\ de\ energia(R\$) \quad [5]$$

$$Lucro\ médio\ anual(R\$) = Lucro\ médio\ mensal(R\$) * 12(meses) \quad [6]$$

Considerando uma inflação energética média gerada pelo aumento no custo da tarifa de energia fornecida pela concessionária, tem-se o aumento da economia financeira anualmente

[16] Disponível em: <*https://globalsolaratlas.info/map?s=-22.996586,-46.841204&m=site&c=-22.996586,-46.841204,11*>. Acesso em: 17 mai. 2021.

[17] Disponível em: <*https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/especial-publicitario/top-sun/top-sun-energia-solar/noticia/2021/04/30/saiba-como-calcular-o-payback-de-investimento-em-energia-solar.ghtml*>. Acesso em: 18 mai. 2021.

(equação 7):

$$Lucro\ médio\ ano\ atual(R\$) = Lucro\ médio\ ano\ anterior(R\$) * Inflação\ (\%)\ [7]$$

Considerando o valor investido na instalação do sistema fotovoltaico obtém-se uma relação anual do lucro obtido a partir da geração de energia elétrica que traz a estimativa de retorno sobre o investimento (*Payback*) em um período médio dado em anos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo e desenvolvimento deste trabalho desenvolve um método para realizar o dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico para uma residência que promete reduzir o consumo de energia. Conforme objetivo do trabalho, foi realizado o cálculo de retorno do capital investido, a partir do investimento referente à instalação.

Para essa definição, utilizando-se como base um histórico de consumo desta residência (conforme Tabela 2), pode-se realizar o cálculo para dimensionar o sistema usando o valor de radiação solar médio da cidade de Jundiaí, cidade em que se encontra a construção. Também se considera uma eficiência de 80% para os módulos solares. O cálculo da potência pico do sistema e a quantidade de placas se dá pelas equações 8 e 9, respectivamente.

Tabela 2 – Histórico de consumo e respectivos valores cobrados (Base dólar PTAX 06/12 – R$5,6877)[18]

Mês de Referência	Preço Total (R$)	Quantidade (kwh)
abril/2019	217,22	263
maio/2019	267,65	306
junho/2019	302,93	363
julho/2019	327,58	387
agosto/2019	400,75	452
setembro/2019	379,16	426
outubro/2019	308,69	334
novembro/2019	230,75	292
dezembro/2019	227,05	294
janeiro/2020	217,91	285
fevereiro/2020	214,96	285
março/2020	204,87	280
Média	**275**	**331**

Fonte: Próprio autor

$$Potência\ do\ sistema\ (kwp) = \frac{Consumo\ médio\ mensal\ (kwh)}{Eficiência\ (\%) * Radiação\ do\ local\ \left(\frac{kwh}{m^2}\right) * 30\ (dias)}\ [8]$$

$$Potência\ do\ sistema\ (kwp) = \frac{327{,}00(kwh)}{80\% * 5{,}45\left(\frac{kwh}{m^2}\right) * 30\ (dias)} = 2{,}50(kwp)[8]$$

Com base na potência do sistema de 2,50 kwp e a potência da placa solar escolhida de 0,340 kW, tem-se a quantidade de placas necessárias para atender a demanda de potência da instalação (Equação 9):

[18] Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/>. Acesso em: 07 dez. 2021.

$$Quantidade\ de\ Placas = \frac{Potencia\ do\ sistema(kwp)}{Potência\ da\ placa(kw)} \quad [9]$$

$$Quantidade\ de\ Placas = \frac{2{,}500(kwp)}{0{,}340(kw)} = 7{,}400[9]$$

De acordo com os cálculos conclui-se que a instalação deverá ter 8 (oito) placas solares de potência 340W e a partir da potência calculada deverá ser utilizado um inversor de potência de 2kW, que pode suportar uma carga de até 2,7kwp. Realizando a comparação dos cálculos com a atual instalação da residência desse estudo de caso, foi identificado que o sistema de geração de energia fotovoltaica deveria possuir uma placa solar adicional. Essa necessidade existe para que a produção de energia atenda completamente a demanda da residência.

Tem-se, conforme lista seguinte, a relação de equipamentos presentes no sistema fotovoltaico da residência estudada.

- 7x Módulo Solar Fotovoltaico 340W
- 1x Inversor Solar 2,0kW
- 2x Dispositivos protetores de surto
- 2x Cabo 1x6 mm² 1,5kV (vermelho e preto)
- 1x Mini disjuntor 16A
- 1x Chave seletora 2p 25A
- 1x Haste de aterramento 2m
- 1x Kit fixação de módulos para telhado cerâmico
- 1x Medidor Bidirecional digital

A partir destas informações, este estudo providenciou a precificação dos itens necessários para o projeto, bem como mão de obra necessária. Após execução do projeto, foi efetuado uma segunda análise com base em um novo histórico de consumo (Tabela 3). Então, foi calculado o tempo de retorno do investimento e a projeção de lucro futuro. Estes parâmetros foram relacionados com base em três itens principais: consumo de energia antes do projeto, consumo de energia após o projeto e o montante investido.

Tabela 3 – Dados da geração de energia do sistema fotovoltaico instalado (Base dólar PTAX 06/12 – R$5,6877)[19]

Mês de Referência	kWh Consumido	kWh Gerado	Valor Total Gerado (R$)	Custo Remanescente (R$)
maio/2020	249	240	148,49	63,35
junho/2020	274	193	118,65	80,65
julho/2020	346	215	133,24	119,73
agosto/2020	322	253	155,80	81,40
setembro/2020	329	252	155,68	87,25
outubro/2020	225	210	130,06	60,86
novembro/2020	239	239	154,54	67,93
dezembro/2020	255	255	179,32	73,35
janeiro/2021	187	187	122,10	47,27
fevereiro/2021	229	205	140,33	67,56
março/2021	273	214	154,22	71,95
abril/2021	263	275	180,32	74,76
maio/2021	249	232	161,70	70,62
junho/2021	286	173	147,96	78,64
julho/2021	310	198	151,76	128,61
agosto/2021	344	226	97,80	148,86
Média	**274**	**223**	**145,75**	**82,67**

[19] Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/>. Acesso em: 07 dez. 2021.

Fonte: Próprio autor

Analisando os dados apresentados na Tabela 3 e considerando o período de 1 ano (maio/2020 a abril/2021) obtêm-se as médias de energia gerada e de economia financeira necessárias para projeção de ganho futuro (*Payback*). Cruzando os dados obtidos com o investimento inicial para compra e instalação do sistema (Proposta 2109021325-SP01 - Via Energy, 2021) tem-se a projeção de retorno do capital investido e lucro futuro (Tabela 4 e Gráfico 1).

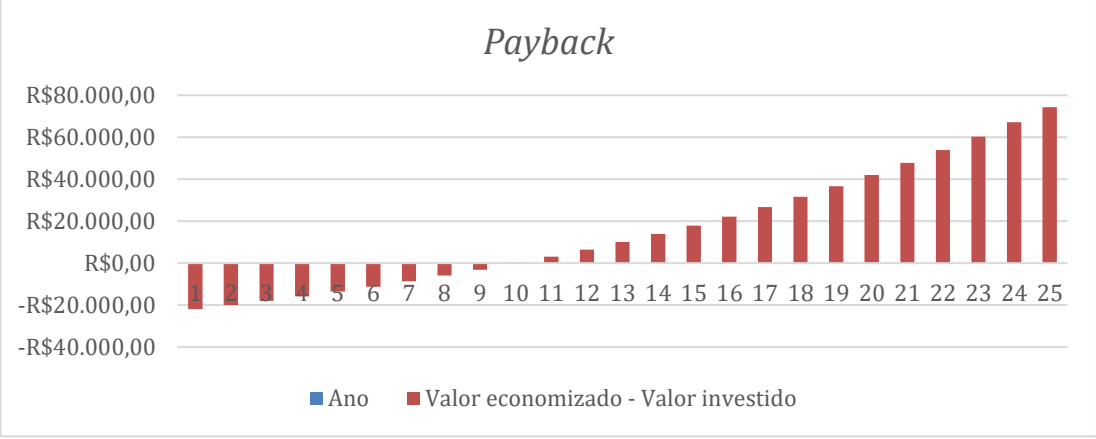
Tabela 4 – Retorno do capital investido e projeção de lucro futuro (Base dólar PTAX 06/12 – R$5,6877)[20]

Ano	Valor economizado (R$)	Inflação média anual (%)	Valor economizado - Valor investido (R$)
1	1772,75	6,00	-21879,80
2	1879,12	6,00	-20000,69
3	1991,86	6,00	-18008,82
4	2111,37	6,00	-15897,45
5	2238,06	6,00	-13659,39
6	2372,34	6,00	-11287,05
7	2514,68	6,00	-8772,37
8	2665,56	6,00	-6106,81
9	2825,49	6,00	-3281,32
10	2995,02	6,00	-286,30
11	3174,73	6,00	2888,43
12	3365,21	6,00	6253,64
13	3567,12	6,00	9820,76
14	3781,15	6,00	13601,91
15	4008,02	6,00	17609,93
16	4248,50	6,00	21858,42
17	4503,41	6,00	26361,83
18	4773,61	6,00	31135,45
19	5060,03	6,00	36195,48
20	5363,63	6,00	41559,11
21	5685,45	6,00	47244,56
22	6026,58	6,00	53271,13
23	6388,17	6,00	59659,30
24	6771,46	6,00	66430,76
25	7177,75	6,00	73608,51

Valor investido (R$)
23652,55

Fonte: Próprio autor

Gráfico 1 – Tempo para retorno financeiro (*Payback)* (Base dólar PTAX 06/12 – R$5,6877)



[20] Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/>. Acesso em: 07 dez. 2021.

Fonte: Próprio autor

CONCLUSÃO

O objetivo do trabalho foi alcançado buscando demonstrar claramente os resultados obtidos a partir do sistema de geração solar instalado. Os dados referentes aos resultados deste trabalho foram extraídos do banco de bancos do inversor de energia instalado, proposta de investimento e conforme mencionado, contas de energia.

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que para a demanda de energia requisitada (média de 331 kwh), o projeto do sistema de geração de energia solar com 2,5 kW obteve um subdimensionamento de placas. Com isso, houve uma postergação do prazo de retorno de investimento para 10 anos. Ressalta-se que para obter o correto tempo de retorno de investimento para este projeto, deveria ser instalado 8 módulos solares, em contraposição dos 7 já instalados.

Por fim, salienta-se que mesmo a partir de um pequeno subdimensionamento do sistema é possível obter retorno de todo o capital investido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 16690: 2019 ABNT Catalogo**. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=426965>. Acesso em: 30 mar. 2021.

ABNT. **NBR 16690**: instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos – requisitos de projeto, 2019

ANEEL AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 685**: Procedimentos de Regulação Tarifária, que define os procedimentos gerais do Reajuste Tarifário Anual das Concessionárias de Distribuição. Brasília, 2015.

ANEEL AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 482**: Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, 2012

BALFOUR, J.; SHAW, M.; NASH, N. B. **Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2016. 241p.

Bandeiras Tarifárias. **ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 29 mar. 2021.

Bandeiras Tarifárias. **CPFL Energia**. Disponível em: < https://www.cpfl.com.br/atendimento-a-consumidores/bandeira-tarifaria/Paginas/default.aspx>. Acesso em 29 mar. 2021.

Bandeiras Tarifárias E Energia Solar: O Que Precisa Saber. **GetPower Energia Solar**. Disponível em: <https://getpowersolar.com.br/blog/bandeiras-tarifarias/>. Acesso em: 24 abr. 2021.

COELHO F. A.; FELIPPE M. T.; SABLÓN V. I. **Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria II**, 2021. 86 p.

Conheça sua conta. **Elektro**. Disponível em: <https://www.elektro.com.br/seu-negocio/conheca-sua-conta>. Acesso em: 28 abr. 2021.

Conhecendo o sistema fotovoltaico: relógio bidirecional **Elysia Energia Solar**. Disponível em: <https://elysia.com.br/relogio-bidirecional/>. Acesso em: 29 mar. 2021.

Cotação dólar EUA PTAX. **Banco Central do Brasil**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/>, acesso em 07 dez. 2021.

Empresa de pesquisa energética – EPE. (2016). **Plano nacional de energia 2050**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia2050>. Acesso em: 31 mar. 2021.

Geração Distribuída. **ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em: 29 mar. 2021.

Global Solar Atlas**, World Bank Group, ESMAP, SolarGIS.** Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/map?s=-22.996586,-46.841204&m=site&c=-22.996586,-46.841204,11>, acesso em 17 mai. 2021

Guia do Inversor Solar. **Energês A Linguagem da Energia**. Disponível em: <https://energes.com.br/fale-energes/inversor-solar-o-cerebro-do-sistema-fotovoltaico/>. Acesso em: 30 mar. 2021.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2017). **Atlas brasileiro de energia solar**. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.htm>. Acesso em: 31 mar. 2021.

International Energy Agency (2017). **Statistic 2017**. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsFromFuelCombustion2017Overview.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2021.

LAGO, S.M.; DELABENETA, C. A produção científica brasileira sobre energia solar fotovoltaica no período de 2007 a 2017. **Revista de Administração de Roraima-UFRR**, Boa Vista, v.8, n.2, p. 416-441, jul/dez. 2018.

MARQUES, R. C.; KRAUTER, S.C., Energia Solar Fotovoltaica e Perspectivas de Autonomia Energética para o Nordeste Brasileiro, **Revista Tecnologia Fortaleza,** v.30, n.2, p.153-162, Dez. 2009.

Mapas Radiância Solar. **Eletrônica PT**. Disponível em: <https://www.electronica-pt.com/mapas-radiacao-solar>. Acesso em: 27 abr. 2021.

Medidor de energia elétrica. Qual a sua aplicação? **Mundo da Elétrica**. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/medidor-de-energia-eletrica-qual-a-sua-aplicacao/>. Acesso em: 24 abr. 2021.

Monocristalino vs Policristalino. **HEPEL Energia Solar**. Disponível em: <https://hepel.com.br/monocristalino-vs-policristalino>. Acesso em: 28 abr. 2021.
NASCIMENTO, R. L., Energia Solar no Brasil: Situações e Perspectivas, **Consultoria Legislativa,** Mai. 2017.

O Brasil oferece uns dos melhores níveis de insolação do mundo. **Cosol**. Disponível em: <https://cosol.com.br/radiacao>. Acesso em: 27 abr. 2021.

O Certificado do Painel Solar – Saiba O Que Você Está Comprando. **Portal Solar**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/o-certificado-do-painel-solar---saiba-o-que-voce-esta-comprando.html>. Acesso em: 30 mar. 2021.

O Que é o Inversor e Como Ele Funciona. **Share Energy**. Disponível em: <https://sharenergy.com.br/o-que-e-o-inversor-e-como-ele-funciona/>. Acesso em: 30 mar. 2021.

Produza energia em casa. **Eletron Energia**. Disponível em: <https://www.eletronenergia.com.br/simulador-de-energia-solar-fotovoltaico/>. Acesso em: 27 abr. 2021.

Qual o Custo de Manutenção do Painel Solar. **Energia Total**. Disponível em: <https://www.energiatotal.com.br/qual-o-custo-de-manuten%C3%A7%C3%A3o-do-painel-solar>. Acesso em: 31 mar. 2021.

Saiba como calcular o payback de investimento em energia solar. **Globo G1**. Disponível em: <https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/especial-publicitario/top-sun/top-sun-energia-solar/noticia/2021/04/30/saiba-como-calcular-o-payback-de-investimento-em-energia-solar.ghtml>. Acesso em: 18 mai. 2021.

Semicondutores de Silício. **Professor Petry**. Disponível em: <https://professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia_UFSC/Materiais_EEL_7051/4_Semicondutores_de_silicio.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2021.

SWART, J. W. **Semicondutores: Fundamentos, Técnicas e Aplicações**, São Paulo: Contexto, 2008. 376 p.

The TALLMAX framed 144 layout module. **Trina Solar**. Disponível em: < <https://static.trinasolar.com/sites/default/files/EN_TSM_DE14A_II_Tallmaxplus_B_2017_web.pdf>, acesso em 17 mai. 2021.

The TALLMAX plus framed 72-cell module (1500V). **Trina Solar**. Disponível em: < <https://static.trinasolar.com/sites/default/files/AU_Datasheet_TallmaxM_DE17M(II)_2020D.pdf>, acesso em 17 mai. 2021.

VIA ENERGY. **Proposta Número 2109021325-SP01**. Gerador Fotovoltaico 2,38kWp. Jundiaí, 2021.

VILLALVA, M. G., **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações Sistemas Isolados e Conectados à Rede**, – 2.ed. – São Paulo: Érica, 2015. 224 p.

WEG Automação. **SIW – Inversores String**, Jaraguá do Sul – SP, nov/2020. 3 p.