



VIABILIDADE ECONÔMICA DA ENERGIA SOLAR EM EMPRESAS DE PEQUENO PORTE: UM ESTUDO DE CASO

PEREIRA, Larissa Abbud Peixoto¹
Centro Universitário Academia – UniAcademia
SILVA JÚNIOR, Dalmo Cardoso da²
Centro Universitário Academia – UniAcademia

Linha de pesquisa: Sistemas de Energia Elétrica

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é apresentar, não só o dimensionamento, como também uma análise de viabilidade econômica e financeira junto com o investimento necessário para a aquisição de uma usina fotovoltaica a ser instalada sobre o telhado de uma empresa de pequeno porte na cidade de Juiz de Fora, Minas Gerais. A energia fotovoltaica vem crescendo amplamente no Brasil, que se mostra bastante promissora pela grande irradiação solar existente, e pode transformar residências ou empresas autossuficientes em sua produção de energia. O estudo de caso deste trabalho mostra o custo para a instalação ligada a distribuidora de energia elétrica (*On-Grid*) da empresa e suas análises financeiras, como o *payback* e sua comparação com investimento em poupança e também com o Certificado de depósito interbancário (CDI), tendo como objetivo final ver a possibilidade de investimento, ou seja, análise de retornos para o capital parado que a empresa possui e visa lucro.

Palavras-chave: Energia Fotovoltaica. Energia Solar. *On-Grid*. Payback. Eficiência Energética.

¹ Graduanda em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Academia - UniAcademia.

² Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia - UniAcademia.

1 INTRODUÇÃO

A descoberta do efeito fotovoltaico em 1839, pelo físico francês Edmond Becquere, foi apenas o princípio dos estudos da energia fotovoltaica, que vem se desenvolvendo ao longo dos anos, visto que foi largamente ampliada em meados do século XX (CRESESB, 2014).

Com o crescimento acelerado da população junto das tecnologias que demandam maior quantidade de energia, se faz necessário o crescimento da produção da mesma, para acompanhar o desenvolvimento humano. Com as consequências ao meio ambiente da produção de energia de formas não sustentáveis, uma das soluções para diminuir o impacto ambiental e acompanhar o desenvolvimento humano foi o crescimento da utilização de energias renováveis, como: eólica, biomassa, hidráulica e solar.

A matriz elétrica do Brasil pode ser considerada exemplo em relação ao mundo, visto que a emissão de gases poluentes é consideravelmente menor. O país, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL possui em sua matriz 84,25% de energia gerada através de fontes renováveis, sendo que entre essas fontes a energia solar obteve um crescimento de 2000% nos últimos anos (ANEEL, 2008).

Esse crescimento da energia solar de forma acelerada acontece por ser a maior fonte energética do planeta, ser inesgotável, relativamente de fácil acesso e, no Brasil, por ter uma localização privilegiada em relação às irradiações solares e é, também, vista como uma nova forma de investimento.

Visto que o governo brasileiro tem criado políticas de incentivo para o crescimento dos sistemas fotovoltaicos, e que os preços para aquisição dos componentes necessários vem despencando, esse tipo de exploração como forma de investimento vem ganhando, cada dia mais força no país. Existem formas diferentes de se analisar o retorno financeiro da energia fotovoltaica, comparando-a com diferentes tipos de investimentos possíveis, e um deles é a poupança que será uma das formas avaliadas no trabalho.

Na seção 2, referencial teórico, será abordada uma revisão da literatura explicando um pouco mais sobre o tema geral que é a energia solar. Já na seção 3 de metodologia será feito o dimensionamento do projeto, para então, na seção 4, resultados e discussões serem feitos calculos, estimativas e comparações e, por fim,

ter a conclusão da viabilidade do projeto, na seção 5.

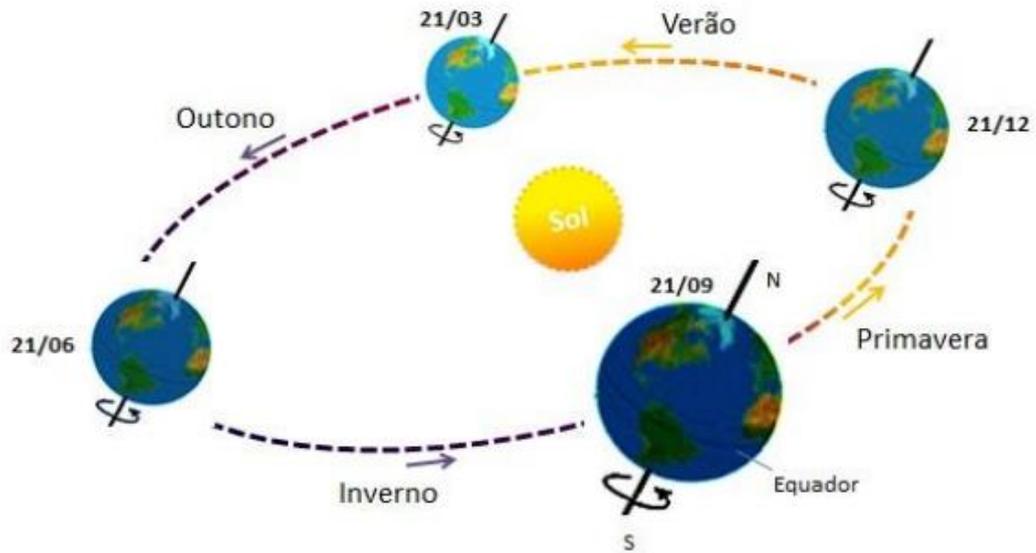
2 REFERENCIAL TEÓRICO

A energia solar se refere a energia proveniente do sol, que é a maior fonte de energia renovável em nosso planeta (Matavelli, 2013), podendo ser aproveitada de forma fotovoltaica ou térmica. A disponibilidade de energia solar na superfície terrestre é muito superior à demanda global de energia elétrica (Bezerra, 2020), sendo ela uma das fontes de energia alternativas mais promissoras para gerar essa energia atualmente. A seguir serão tratados alguns termos relacionados à energia solar para facilitar a compreensão.

2.1 CONCEITOS

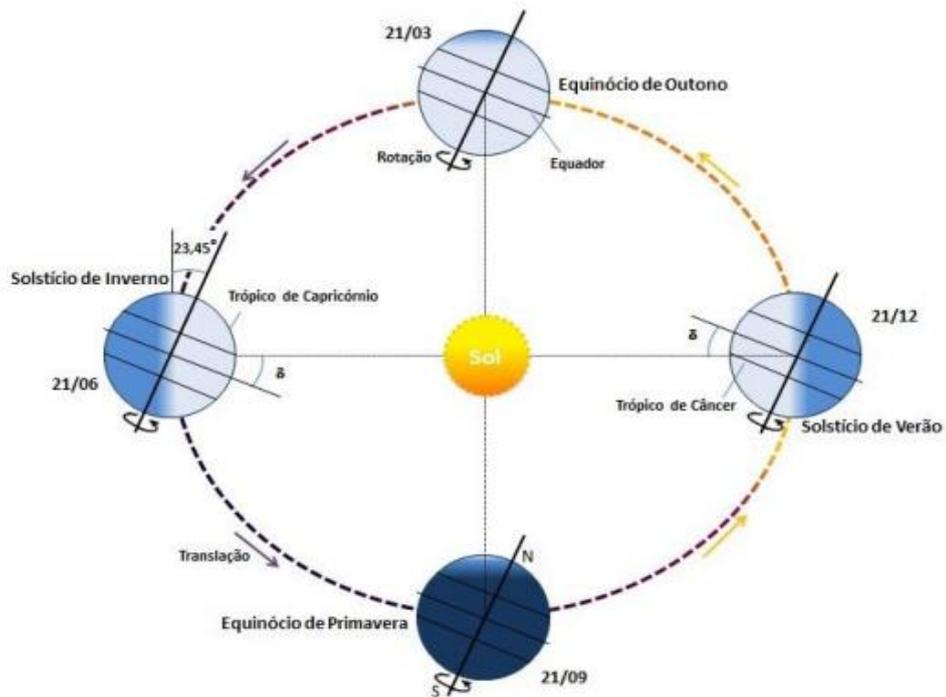
- Radiação solar: é a energia proveniente do sol que chega em forma de ondas eletromagnéticas
- Irradiância: quantidade de energia que incide sobre uma superfície
- Irradiação solar: é a energia incidente por unidade de superfície de um dado plano, obtida pela integração da irradiância durante um intervalo de tempo (CRESESB, 2014)
- Geometria da Terra em relação ao sol: a angulação entre o sol e a Terra varia de acordo com o movimento anual da Terra em torno do Sol, que forma uma elipse com uma inclinação de aproximadamente $23,45^\circ$, negativo, no solstício de verão, ou positivo no solstício de inverno. Este ângulo é chamado de declinação Solar (δ) e é positivo ao norte e negativo ao sul (CRESESB, 2014). Na Figura 1(a) e (b), é possível ver o movimento da Terra mencionado acima e a Declinação Solar (δ) ao longo do ano, respectivamente

Figura 1 (a) - Formação das estações do ano a partir do movimento da Terra.



Fonte: (CRESESB, 2014).

Figura 1(b) - Declinação Solar ao longo do ano.

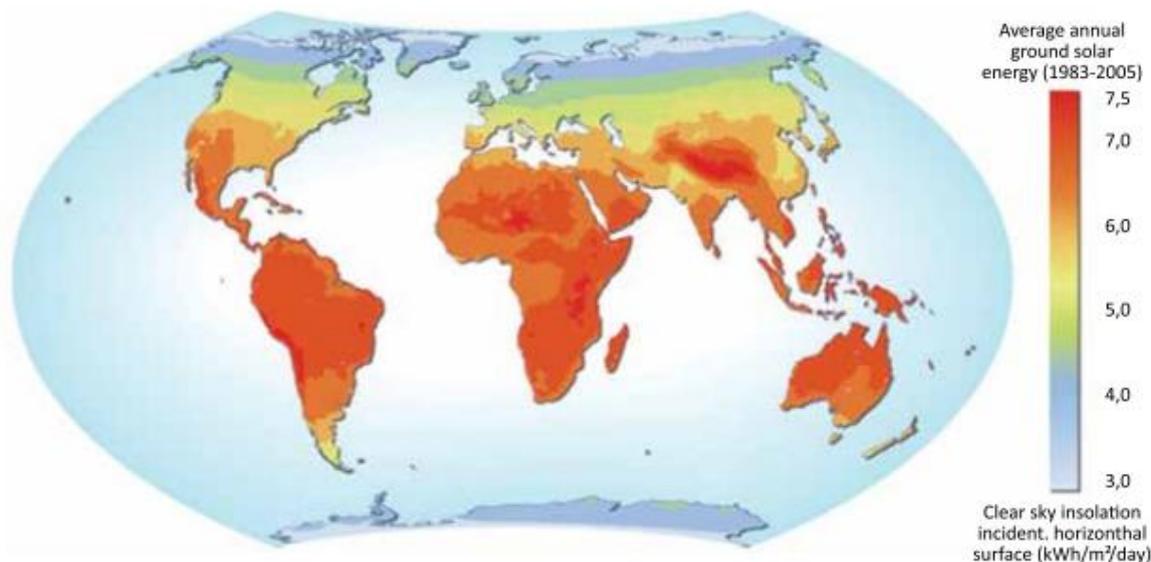


Fonte: (CRESESB, 2014).

2.2 POTENCIAL DE ENERGIA SOLAR

Como dito anteriormente, o mundo possui potencial de energia solar para suprir a demanda elétrica de toda a população, na Figura 2, é possível ver esse potencial quando se mostra as incidências de irradiação solar anual em cada lugar do mundo, onde as partes mais escuras indicam uma maior incidência dos raios solares.

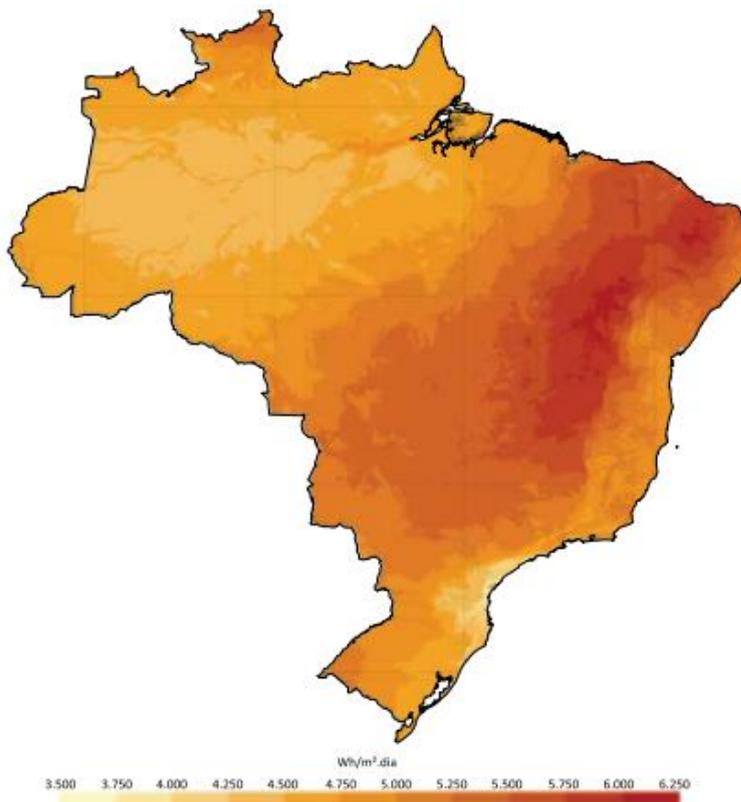
Figura 2 - Potencial de Energia Solar no Mundo.



Fonte: United Nations Environment Programme – UNEP; NASA Surface Meteorology and Solar Energy – SSE, 2008 apud EIA (2018).

Ainda sobre o potencial de geração de energia solar, agora no Brasil, de acordo com a translação do planeta, é possível dizer que é um dos países com maior incidência de sol durante o dia, visto que possui uma proximidade muito grande com o Equador, onde a irradiação solar, em algumas regiões situadas próximas a ele, excede 2.300 kWh/m² por ano, enquanto no sul da Europa não deverá exceder os 1.900 kWh/m² (GREENPRO, 2004). A perceber, através da Figura 3, a média anual de irradiação solar no Brasil, que, de acordo com o atlas brasileiro de energia solar possui incidência em torno de 4.444 Wh/m² a 5.483 Wh/m².

Figura 3 - Mapa diário de irradiação Brasileira – média anual.



Fonte: (PEREIRA et al., 2017).

2.3 A GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

A geração da energia solar começou com a descoberta do efeito fotovoltaico, em 1839, pelo físico Francês Edmond Becquere, após essa descoberta, foi apenas em 1954, nos Estados Unidos da América, que foi publicada a primeira célula solar com sua patente registrada por Gerald Pearson, Daryl Chapin e Calvin Fuller, que possuía apenas 6% de eficiência (CRESESB, 2014), a partir daí foi através da “corrida espacial” e o setor de telecomunicação que veio o grande desenvolvimento dessa tecnologia, que teria sido ainda mais alavancada com a crise petrolífera de 1973, trazendo a grande discussão da necessidade de energias alternativas (Vallêra; Brito, 2006).

Desde então muito foi mudado e desenvolvido, mas foi apenas no final do século XX, já com o grande avanço da tecnologia e o investimento das indústrias fotovoltaicas que surgiram painéis com menores custos, tornando-os mais acessíveis

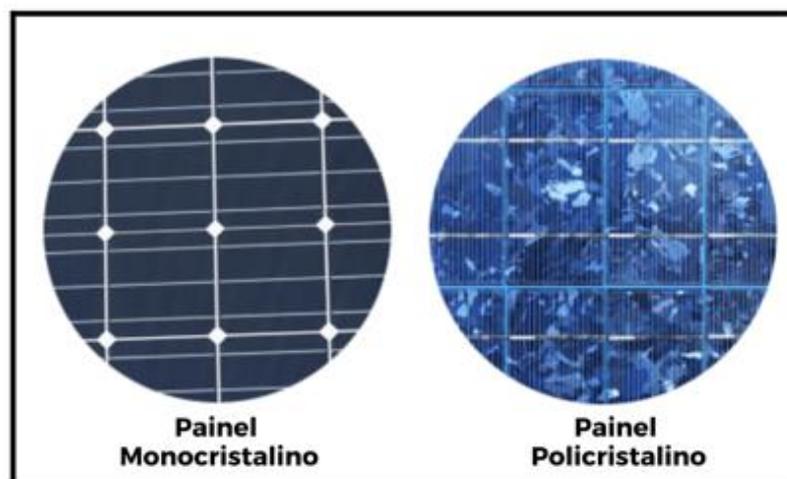
e com a eficiência, girando em torno de 14 e 18% (Sauer, 2015).

Nos módulos solares atuais existem células compostas de silício que por ser um semicondutor e em seu formato puro não possui elétrons livres é acrescido com porcentagem de outros elementos, processo esse que é denominado dopagem, passando a ser condutor elétrico e permitindo a existência do chamado efeito fotovoltaico, processo químico que, quando atingido pela luz do sol, gera a mudança de cargas e elétrons, transformando em energia elétrica (Alves, 2019).

Um painel solar é composto por diversas células, ligadas em série, fazendo com que a produção de energia seja eficaz. Nesse processo de dopagem descrito temos a junção do silício com o fósforo, formando a carga negativa (tipo N), e a junção dele com o boro formando as cargas positivas (tipo P) e cada uma dessas células, que são ligadas em série é composta de uma camada N e outra camada P, que quando unidas na forma P-N, formam um campo elétrico. Ao entrar em contato com os raios solares os fótons se chocam com os elétrons formados fornecendo-lhes energia (Alves, 2019).

Existem dois tipos de painéis fotovoltaicos no mercado, os monocristalinos e os policristalinos. A diferença entre eles está no método de fundição utilizado, tornando os monocristalinos cerca de 8% mais eficientes, e em contrapartida tendo preços mais elevados, algo que deve ser levado em conta na hora do investimento. Na Figura 4 pode-se observar a diferença visual entre eles.

Figura 4 - Diferença visual entre painéis fotovoltaicos.



Fonte: <https://emapsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-leia-antes-de-escolher-o-melhor-para-voce>.

Acesso em: 22 maio 2024.

A potência dos painéis solares é gerada em corrente contínua (CC) e como a maioria dos aparelhos utilizam a corrente alternada (CA), além dos, já mencionados painéis, se faz necessário a utilização de um inversor de frequência, aparelho que faz a conversão dessa potência CC gerada, para CA. Na Figura 5 são mostrados alguns exemplos desses inversores comerciais.

Figura 5 - Inversores de frequência.



Fonte: <https://www.portal-energia.com/como-escolher-o-melhor-inversor-para-o-sistema-solar-da-minha-casa/>. Acesso em: 22 maio 2024.

Apesar de ainda ser uma tecnologia cara, a energia fotovoltaica vem crescendo exponencialmente devido ao grande aumento nas tarifas cobradas pelas concessionárias, vindo a ser um tipo de investimento para quem a utiliza, e não esquecendo o fato de ser uma fonte inesgotável.

2.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos são utilizados em diversas aplicações, como em áreas rurais onde a rede elétrica não é acessível. São alternativas para as soluções convencionais, como geradores a diesel, podendo energizar bombas d'água, irrigar hortas e também abastecer casas. Atualmente existem três diferentes tipos de sistemas explorados, são eles:

- Sistemas híbridos;
- Sistemas *Offgrid*;
- Sistemas *Ongrid*.

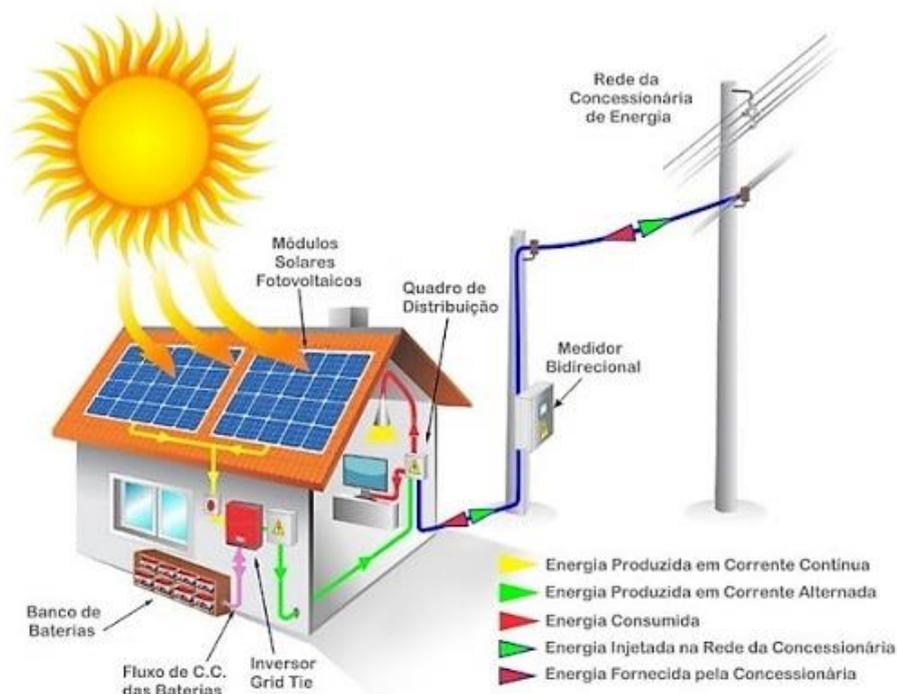
Essas formas de operação serão apresentadas a seguir.

2.4.1 Sistemas híbridos

Os sistemas híbridos são sistemas que geram energia solar associados com outras formas de geração, como sistemas eólicos, geradores, ou até mesmo ligada a rede de distribuição, possibilitando duas formas de operação, garantindo a energia na ausência da rede elétrica convencional.

Pode-se perceber na Figura 6 uma ilustração do sistema híbrido associado à rede da concessionária de energia, onde observa-se a existência, além dos painéis solares e inversores, do banco de baterias, que possibilita suprir as falhas na rede elétrica e também pode contribuir com a economia na fatura de energia elétrica.

Figura 6 - Ilustração de sistema híbrido.



Fonte: <https://www.ocaenergia.com/sistema-fotovoltaico-hibrido-entenda-o-que-e/>. Acesso em: 22 maio 2024.

2.4.2 Sistemas offgrid

Esse sistema, que também pode ser chamado de autônomo, é dimensionado geralmente em meses com menor radiação solar, para alimentar um conjunto de cargas existentes, sem a presença da rede elétrica, pois possui um banco de baterias para armazenar a energia produzida pelos painéis solares associadas ao controlador de carga e ao inversor (Freitas, 2008). Na Figura 7 é ilustrado um esquemático dessa forma de produção de energia.

Figura 7 - Sistema Offgrid.

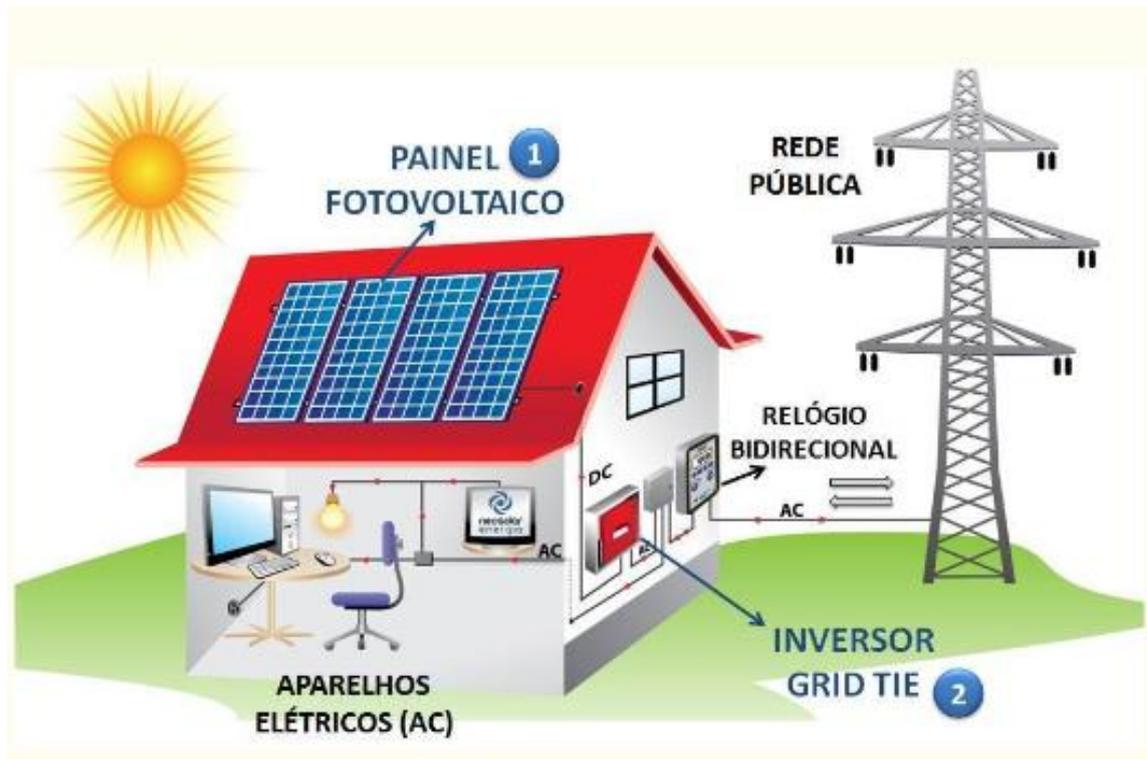


Fonte: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>. Acesso em: 22 maio 2024.

2.4.3 Sistemas ongrid

São sistemas conectados diretamente a rede, onde entregam toda a energia gerada à concessionária. Como nos outros sistemas, o *ongrid* também necessita do inversor que possui a função de converter a potência gerada pelos painéis solares em CA, que é a inserida na rede, como pode ser vista na Figura 8.

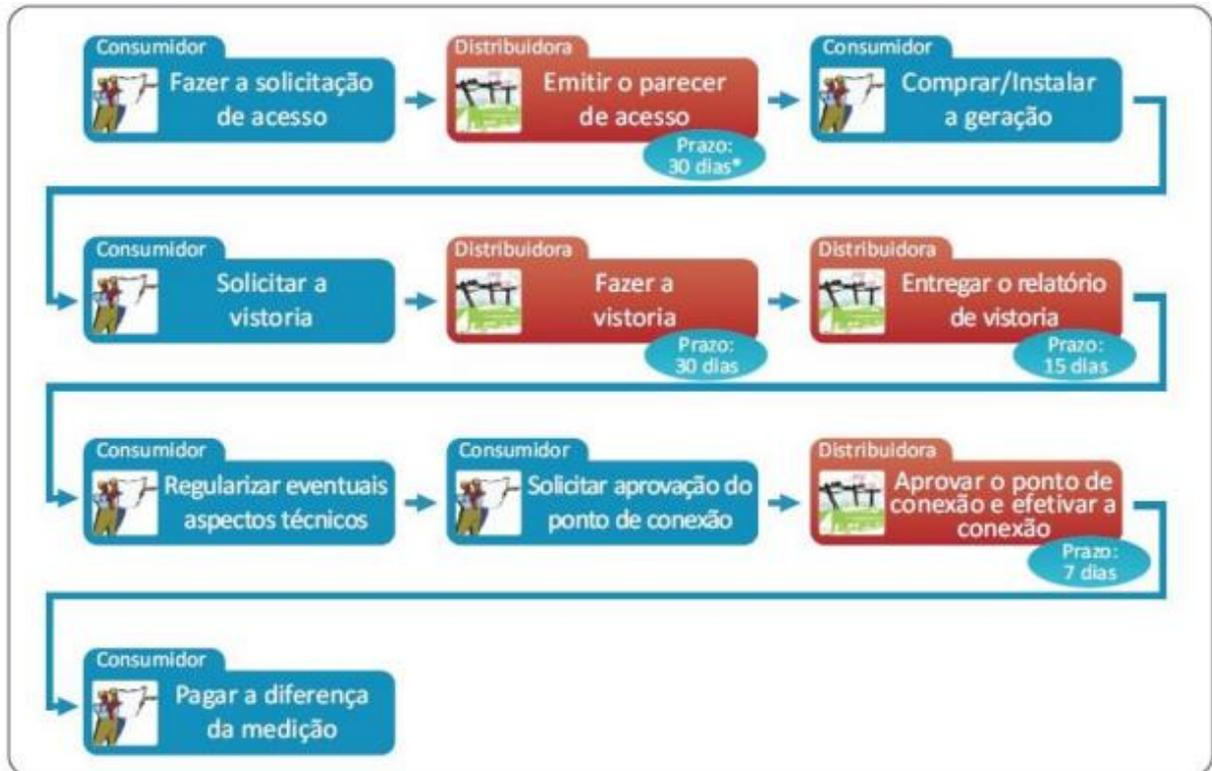
Figura 8 - Sistema Ongrid.



Fonte: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>. Acesso em: 22 maio 2024.

Neste trabalho será abordada a geração solar no modelo *Ongrid*, trazendo o passo a passo do projeto elétrico de microgeração, algo que é exigido pelas concessionárias e que deve ser feito por um profissional capacitado. Na Figura 9, é ilustrado um passo a passo desse processo de homologação da concessionária (Sauer, 2015).

Figura 9 - Processo de homologação de um sistema ongrid.



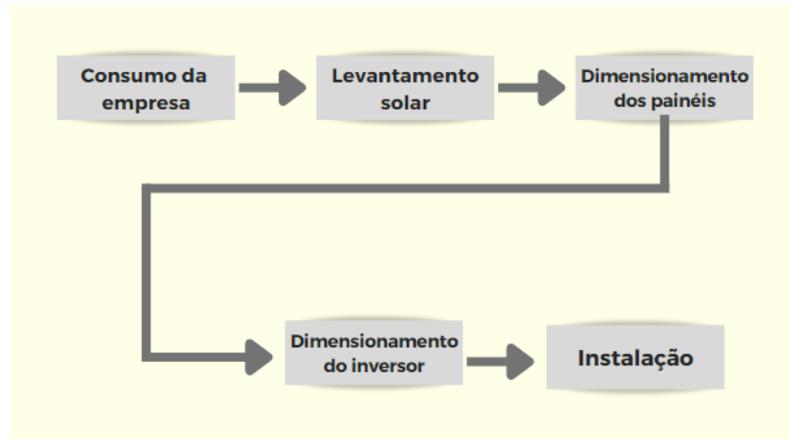
Fonte: PRODIST, 2012.

Após a solicitação ser feita, a concessionária possui um prazo de 30 dias para emitir o parecer de acesso, enquanto esse processo é feito o consumidor pode realizar o processo de instalação e logo após a entrega do parecer, a vistoria será solicitada, tendo o mesmo prazo, de mais 30 dias para ser feita, além de outros 15 dias para a entrega do relatório da mesma. Após as possíveis regularizações necessárias a distribuidora terá um prazo de 7 dias para aprovar e efetivar a conexão do novo sistema *Ongrid*, que leva em média 80 dias.

3 METODOLOGIA

Como dito anteriormente, este trabalho abordará o dimensionamento fotovoltaico de uma empresa de pequeno porte, situada na cidade de Juiz de Fora-MG, dando ênfase a parte de *paypaback*, comparando-o com possíveis investimentos. Será abordado o passo a passo do dimensionamento, com as devidas demandas e necessidades da empresa. Na Figura 10 observa-se o fluxograma com as etapas que serão feitas no dimensionamento.

Figura 10 - Fluxograma das etapas do dimensionamento.



Fonte: A autora, 2024.

3.1 LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÃO

O dimensionamento será feito em uma empresa situada na Avenida Coronel Vidal, número 455, Mariano Procópio, na cidade de Juiz de fora. Na Figura 11 são expostas fotos da localização da empresa.

Figura 11 - Localização de instalação.



Fonte: Google maps, 2024.

Sabendo que a latitude é -21.744875829658476 , e a longitude, nesse caso, é -43.36689957453957 , pode-se obter os índices de irradiação dados na Tabela 1.

Tabela 1 - Irradiação solar diária média no local de instalação.

Meses	Irradiação (Kwh/ m ² / dia)
Janeiro	5,54
Fevereiro	5,84
Março	4,81
Abril	4,16
Mai	3,52
Junho	3,35
Julho	3,54
Agosto	4,29
Setembro	4,60
Outubro	4,87
Novembro	4,71
Dezembro	5,46
Média	4,56

Fonte: CRESESB

De acordo com o centro de referência para as energias solar e eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB), a maior média de irradiação solar, para a localização a ser instalada, seria com uma inclinação de 19° N, tendo uma média anual de 4,75 Kwh/ m²/ dia, maior em 0,96% que a média com o painel colocado a 0° de inclinação, o que levaria a uma maior eficiência do projeto.

3.2 LEVANTAMENTO DE DEMANDA DE CARGA

Começou o levantamento de demanda a partir da análise da conta de luz nos últimos 12 meses no local de estudo, na Tabela 2, é possível ver a média de consumo mensal da empresa.

Tabela 2 - Histórico do consumo anual.

Mês/ano	Consumo mensal (kwh)	Dias de faturamento
Março/2024	523	28
Fevereiro/2024	441	29
Janeiro/2024	528	33
Dezembro/2023	606	29
Novembro/2023	528	30
Outubro/2023	666	33
Setembro/2023	539	29
Agosto/2023	778	33
Julho/2023	691	29
Junho/2023	672	30
Mai/2023	665	33
Abril/2023	639	29

Fonte: A autora, 2024.

Para descobrir os melhores equipamentos a serem utilizados foram feitos os calculos da média mensal e em seguida do consumo diário que levaram ao calculo da potência mínima, fazendo possível a escolha dos painéis e inversor do projeto.

3.2.1 Cálculo da média mensal de consumo

Abaixo, na equação 1, observa-se o cálculo necessário para encontrar a média de consumo mensal da empresa estudada.

$$\begin{aligned}
 \text{Média} &= \frac{\Sigma \text{ consumo}}{12} & (1) \\
 &= \frac{(523 + 441 + 528 + 606 + 528 + 666 + 539 + 778 + 691 + 672 + 665 + 639)}{12} \\
 &= \text{Média} = 606,33 \text{ kwh}
 \end{aligned}$$

3.2.2 Cálculo do consumo diário

Na equação 2, calcula-se, através da média encontrada a equação 1, o consumo diário da empresa.

$$\text{Consumo diário médio} = \frac{\text{Média}}{30} \quad (2)$$

$$\text{Consumo diário médio} = \frac{606,33}{30}$$

$$\text{Consumo diário médio} = 20,21\text{kwh}$$

3.3 ESCOLHA DO PAINEL E INVERSOR

3.3.1 Cálculo da potência mínima de pico do inversor

$$Pm (Wp) = \frac{E}{TD \times HSP} \quad (3)$$

Onde:

- E é o consumo diário
- HSP é a Média de HSP anual
- TD é a taxa de desempenho.

Então,

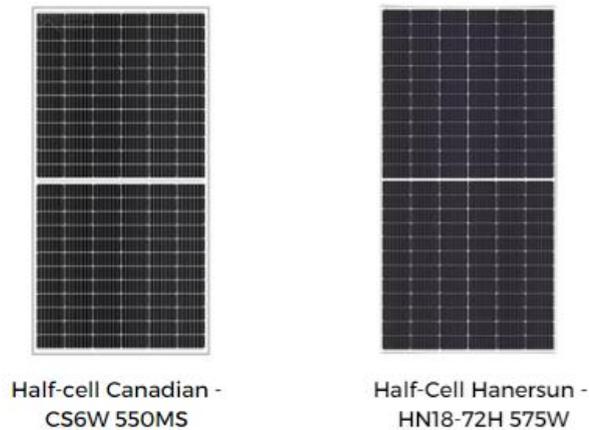
$$Pm (Wp) = \frac{(606,33 - 50)/30}{0,75 \times 4,75}$$

$$Pm (Wp) = 5200 Wp$$

3.3.2 Escolha do painel solar

Tomou-se, como exemplo, duas placas solares com uma potencia de 550wp e 575wp e padrão monocristalino, por possuir uma maior eficácia, mudando apenas a marca para que pudesse ser feita uma comparação e avaliar qual seria a melhor opção para instalação. Na Figura 12 e Tabela 3 temos as placas e sua descrição técnica respectivamente.

Figura 12 - Painéis solares escolhidos para comparação.



Fonte: <https://www.minhacasasolar.com.br/>. Acesso em: 22 maio 2024.

Tabela 3 - Dados técnicos dos painéis da Figura 12.

Placa	Potência	Tensão	Corrente	Eficiência	Tipo de célula
Canadian	550W	41,7V	13,20 A	21,30%	Monocristalina
Hanersun	575W	43,0V	13,38 A	22,26%	Monocristalina

Fonte: <https://www.minhacasasolar.com.br/>. Acesso em 22 de maio de 2024.

Na Tabela 4 foi feita a comparação dos dados mostrados acima e, por fim, a escolha da placa solar ideal a ser utilizada no projeto.

Tabela 4 - Comparação das placas solares.

Placa	Potência	$P_{sistema}/P_{placa}$	Nºpainéis	Preço unid.	Preço total
Canadian	550W	9,45	10	R\$ 589,00	R\$ 5.890,00
Hanersun	575W	9,04	10	R\$ 548,10	R\$ 5.481,00

Fonte: A autora, 2024.

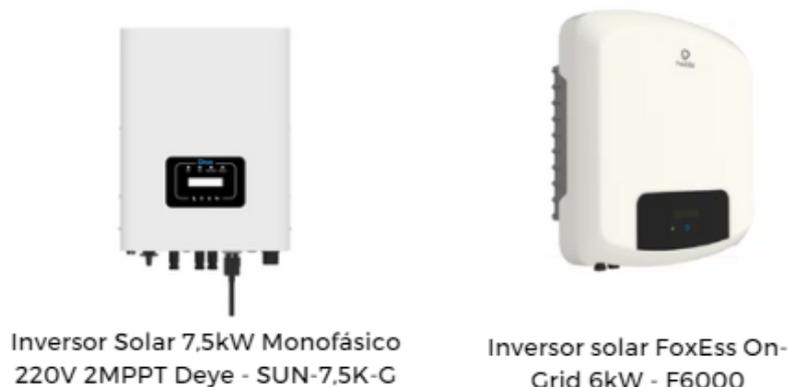
Com as especificações e comparações vistas na Tabela 4, é possível concluir que a melhor placa a ser utilizada no projeto é a da marca Hanersun, uma vez que essa placa possui maior eficiência e menor custo. Portanto, nesse projeto, serão utilizadas um total de dez painéis de 575W.

3.3.3 Escolha do inversor a ser utilizado

Sabendo que os módulos fotovoltaicos produzem energia em corrente contínua (CC) e que é preciso de um inversor para transformá-la em corrente alternada (CA), a qual é entregue para os consumidores, será feita a partir de agora a escolha da melhor opção de uso para o sistema.

Com a escolha dos painéis de 575W e sabendo que serão um total de 10 painéis, sabe-se que a potência máxima do sistema será de 5750W, com isso será feita uma comparação entre dois inversores possíveis, pré-selecionados dentre as opções de mercado, para avaliar qual a melhor escolha para o dimensionamento. Na Figura 13 é possível ver as duas melhores opções escolhidas para essa comparação.

Figura 13 - Inversores escolhidos para comparação.



Fonte: <https://www.minhacasasolar.com.br/>. Acesso em: 22 maio 2024.

Na Tabela 5 estão os fatores de comparação dos inversores citados.

Tabela 5 - Comparação de inversores

Inversor	Potência máxima	FDI ($P_{inversor} / P_{sistema}$)	Preço
Deye	7,5kw	1,30	R\$3746,97
FoxEss	6kw	1,04	R\$3812,07

Fonte: A autora, 2024.

O fator de dimensionamento (FDI), mencionado na tabela acima é dado pela relação da potencia do inversor com a potencia do sistema e é, para o projeto fotovoltaico de extrema importância porque tem relação direta com o custo-benefício do projeto e também do tempo de vida útil do equipamento, quando é submetido a níveis prolongados de altas temperaturas.

Como esse fator de dimensionamento deve ser menor que 1,05, foi definido para o projeto o inversor FoxESS, de 6KW, mesmo ele apresentando um valor um pouco mais elevado.

3.3.4 Escolha do arranjo a ser utilizado dos painéis

Para essa escolha é preciso fazer o calculo de quantos painéis em série ou paralelo seriam possíveis de ser utilizado. Esse cálculo é feito a partir da voltagem dos dados técnicos dos painéis solares com os do inversor escolhidos, e pode ser visto abaixo.

$$N \text{ paineis série} = \frac{V \text{ inv}}{VOC \text{ painel}} \quad (4)$$

$$N \text{ painéis série} = \frac{600}{51,2} = 12 \text{ painéis}$$

Onde:

- $V \text{ inv}$ – tensão máxima do inversor
- $VOC \text{ painel}$ – tensão de circuito aberto do painel

$$N \text{ painéis paralelo} = \frac{I \text{ inv}}{Isc \text{ painel}} \quad (5)$$

Onde:

- $I \text{ inv}$ – capacidade de corrente do inversor
- $Isc \text{ painel}$ – corrente de curto circuito

$$N_{\text{painéis paralelo}} = \frac{14}{14,17} = 1 \text{ cadeia de painéis}$$

Como o número máximo de painéis que podem ser colocados em série é maior que o número que será utilizado no projeto, será verificada a possibilidade de uso da mesma através da tensão de máxima potência do inversor.

$$V_{invMin} < N_{\text{painéis série}} \times V_m < V_{inv} \quad (6)$$

$$120 < 10 \times 43 < 600$$

$$120 < 430 < 600$$

Conclui-se então, a partir da equação 6 que os painéis deverão ser colocados em série.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O valor a ser estimado para projeto em questão engloba vários custos, não sendo apenas de painéis e inversor a ser utilizado. No projeto serão abordados os seguintes fatores:

- Painéis;
- Inversor;
- Estrutura dos painéis;
- Cabeamento;
- Instalação e manutenção.

4.1 CUSTO DE PAINÉIS

Como o painel escolhido foi o da marca Hanersun de 575W, com um custo unitário de R\$548,10, e sabendo que o sistema terá 10 painéis temos a seguir o custo total de painéis:

$$C_{\text{painéis}} = 10 \times R\$548,10$$

$$C_{\text{painéis}} = R\$ 5.481,00$$

4.2 CUSTO DO INVERSOR

Como visto anteriormente, o inversor utilizado será o da marca FoxESS, sendo necessário o uso de apenas um inversor para o projeto. Então o custo do inversor é R\$ 3.812,07.

4.3 CUSTO DE ESTRUTURA E CABEAMENTO

A partir do kit de montagem escolhido e mostrado na Figura 14, sabe-se que serão necessários quatro deles para a montagem dos dez painéis necessários no projeto, totalizando R\$824,76.

Figura 14 - Suporte para painéis solares.



Fonte: <https://www.minhacasasolar.com.br/>. Acesso em: 22 maio 2024.

Para os cabos sabe-se que o inversor estará a vinte metros dos painéis e que os painéis estarão ligados em série com uma distancia de um metro entre eles, então serão necessários trinta metros de cada cabo para instalação.

Tomando como base a Tabela 40 da ABNT NBR 5410, mostrada na Tabela 6, considerando uma temperatura de 55 graus Celsius para a instalação observa-se que o fator de correção será de 0,76, então a corrente corrigida do sistema será:

Tabela 6 - Fator de correção

Temperatura (°C) - ambiente	Isolação	
	PVC	EPR ou XLPE
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41

Fonte: ABNT - <https://www.guiadaengenharia.com/wp-content/uploads/2019/02/tabelas-completas-5410.pdf>.

$$I_b = \frac{I_{sist}}{F_{temp} \times F_{agrupamento}} \quad (7)$$

$$I_b = \frac{13,38A}{0,76 \times 1}$$

$$I_b = 17,6A$$

Essa corrente mostra que é possível a utilização de cabos de 6mm² para a instalação, então serão considerados 30 metros de cabo de 6mm², usando como base os kits da Figura 15, serão gastos 3 deles com um valor total de R\$420,39.

Figura 15 - Kit de cabos e conectores



Fonte: <https://www.minhacasasolar.com.br/>. Acesso em: 22 maio 2024.

4.4 CUSTO DE INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO

Sabe-se que o custo de Instalação fica em torno de 20% do valor inicial dos módulos e inversores que já foram calculados anteriormente, então:

$$C_{\text{instalação}} = 0,20 \times (C_{\text{painéis}} + C_{\text{inversor}}) \quad (8)$$

$$C_{\text{instalação}} = 0,20 \times (R\$5481,00 + R\$3812,07)$$

$$C_{\text{instalação}} \cong R\$1860,00$$

E será adotado um custo de manutenção anual de R\$150,00.

4.5 CUSTO TOTAL DE PROJETO

Na Tabela 7 é possível observar os valores finais de cada elemento junto com o custo final de projeto.

Tabela 7 - Custos finais do projeto.

Custos totais	
Painel	R\$ 5.481,00
Inversor	R\$ 3.812,07
Estrutura	R\$ 824,76
Cabeamento	R\$ 420,39
Instalação	R\$ 1.860,00
Total	R\$ 12.398,22

Fonte: A autora, 2024.

5 ANÁLISE FINANCEIRA

A partir dessa fase do projeto será feita a análise de viabilidade econômica e financeira, mostrando resultados da possível instalação junto com comparações de possíveis investimentos e seus retornos.

Tendo em mãos o valor final de todo o projeto, será possível compará-lo com os valores de retorno em poupança e investimento de Certificado de depósito interbancário (CDI), levando em consideração que são os dois investimentos mais seguros atualmente.

Tomando como base a conta de luz sendo bifásica, foi elaborada uma planilha para cálculo do *payback*.

Na Tabela 8 pode-se observar os dados utilizados para cálculo de ambos os investimentos

Tabela 8 - Dados usados para cálculo

Fatura Mensal (Média)	Fatura depois	Economia	À vista
R\$ 422,00	R\$ 90,00	R\$ 332,00	R\$ 12.398,22

Fonte: A autora, 2024.

Já na Tabela 9 são expostos os cálculos feitos a partir dos seguintes dados para investimento feito em poupança:

- Poupança tendo um rendimento anual de 6% ao ano;
- Decaimento da produção de energia dos painéis em 0,8% ao ano.

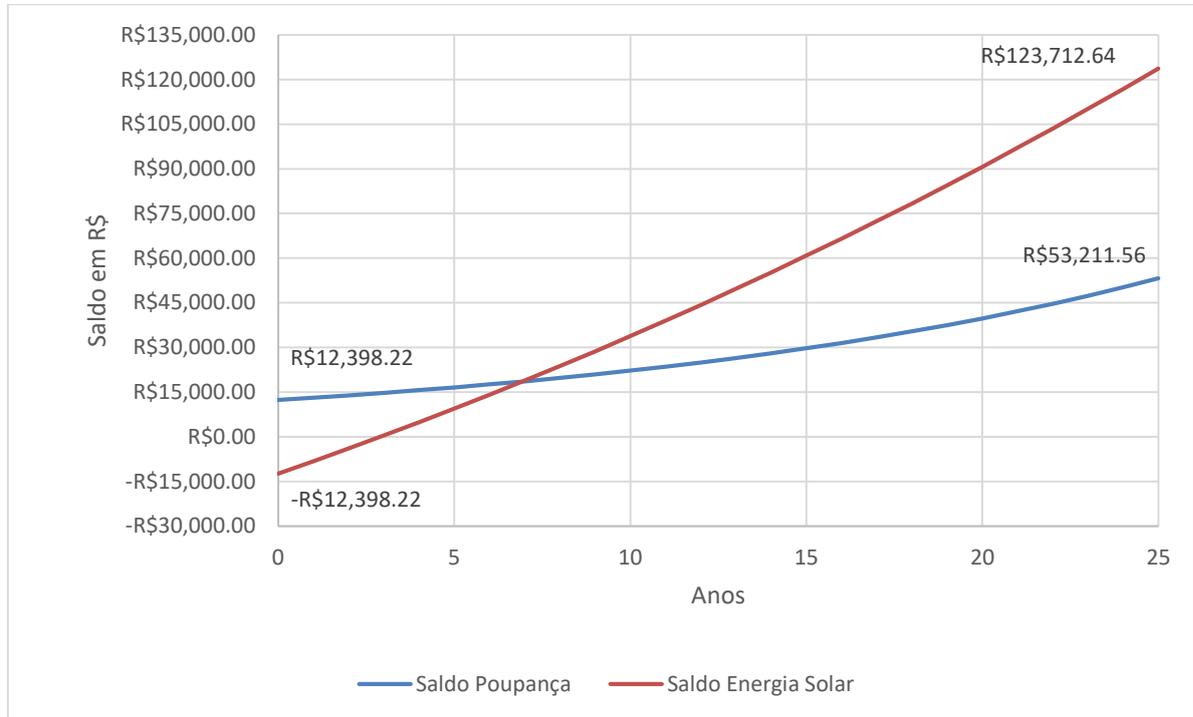
Tabela 9 - Cálculo de *payback* para poupança

Ano	Saldo Poupança	Saldo Energia Solar	Economia
0	R\$ 12.398,22	-R\$ 12.398,22	
1	R\$ 13.142,11	-R\$ 8.446,09	R\$ 3.984,00
2	R\$ 13.930,64	-R\$ 4.408,23	R\$ 4.070,69
3	R\$ 14.766,48	-R\$ 283,04	R\$ 4.159,00
4	R\$ 15.652,47	R\$ 3.931,07	R\$ 4.248,94
5	R\$ 16.591,62	R\$ 8.235,74	R\$ 4.340,54
6	R\$ 17.587,11	R\$ 12.632,60	R\$ 4.433,81
7	R\$ 18.642,34	R\$ 17.123,30	R\$ 4.528,76
8	R\$ 19.760,88	R\$ 21.709,53	R\$ 4.625,43
9	R\$ 20.946,53	R\$ 26.392,97	R\$ 4.723,82
10	R\$ 22.203,32	R\$ 31.175,33	R\$ 4.823,94
11	R\$ 23.535,52	R\$ 36.058,33	R\$ 4.925,83
12	R\$ 24.947,65	R\$ 41.043,70	R\$ 5.029,49
13	R\$ 26.444,51	R\$ 46.133,18	R\$ 5.134,93
14	R\$ 28.031,18	R\$ 51.328,55	R\$ 5.242,17
15	R\$ 29.713,06	R\$ 56.631,57	R\$ 5.351,23
16	R\$ 31.495,84	R\$ 62.044,02	R\$ 5.462,11
17	R\$ 33.385,59	R\$ 67.567,71	R\$ 5.574,83
18	R\$ 35.388,72	R\$ 73.204,42	R\$ 5.689,39
19	R\$ 37.512,05	R\$ 78.955,97	R\$ 5.805,81
20	R\$ 39.762,77	R\$ 84.824,19	R\$ 5.924,10
21	R\$ 42.148,54	R\$ 90.810,88	R\$ 6.044,26
22	R\$ 44.677,45	R\$ 96.917,89	R\$ 6.166,30
23	R\$ 47.358,10	R\$ 103.147,03	R\$ 6.290,21
24	R\$ 50.199,58	R\$ 109.500,15	R\$ 6.416,02
25	R\$ 53.211,56	R\$ 115.979,07	R\$ 6.543,71

Fonte: A autora, 2024.

Na Figura 16 é mostrado um gráfico dos cálculos feitos comparando investimento de poupança com o investimento da energia fotovoltaica.

Figura 16 - Gráfico comparativo de poupança.



Fonte: A autora, 2024.

Na figura 16 pode-se observar que quando é feito o gráfico de comparação entre o investimento da energia solar e o investimento da mesma quantia na poupança, rendendo 6% ao ano, ao final dos 25 anos de estudo a poupança renderia cerca de R\$70.501,00 reais a menos que a energia solar

Para o caso do investimento do CDI será analisada a tabela 10, com os valores dos últimos 25 anos, desse rendimento a título de conhecimento do nível de insegurança do mesmo.

Tabela 10 - Valores de CDI nos últimos 25 anos.

Ano	% CDI acumulado
2023	13,04
2022	12,39
2021	4,42
2020	2,76
2019	5,96
2018	6,43
2017	9,94

Ano	% CDI acumulado
2016	14,02
2015	13,27
2014	10,90
2013	8,22
2012	8,49
2011	11,62
2010	9,78
2009	9,93
2008	12,48
2007	11,88
2006	15,08
2005	19,05
2004	16,25
2003	23,35
2002	19,17
2001	17,32
2000	17,43
1999	25,59

Fonte: Investidor 10.

A partir da tabela acima foram feitos os cálculos da média a ser usada para comparação de investimento e o valor encontrado foi o de 12,75%. Com esse valor em mãos, serão apresentados os valores de investimento da energia solar comparados com os valores de investimentos no CDI na Tabela 11 com os seguintes dados:

- CDI tendo um rendimento anual de 12,75% ao ano;
- Decaimento da produção de energia dos painéis em 0,8% ao ano.

Tabela 11 – Cálculo de *payback* para CDI

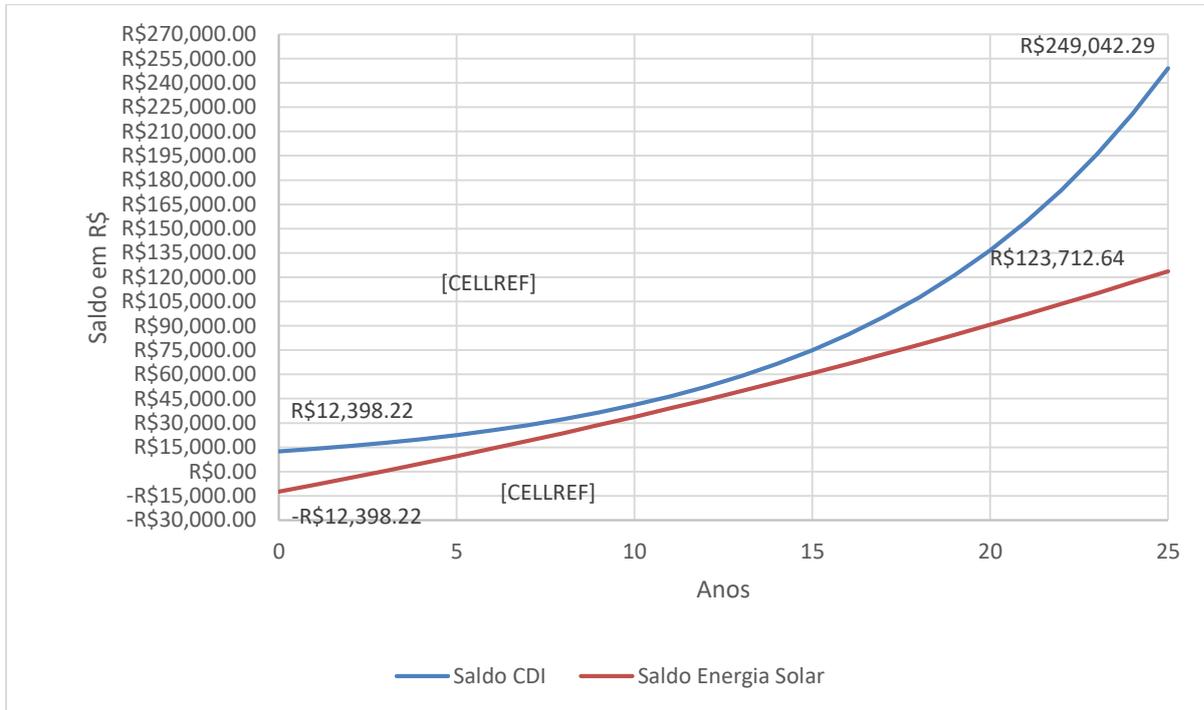
Ano	Saldo CDI	Saldo Energia Solar
0	R\$ 12.398,22	-R\$ 12.398,22
1	R\$ 13.978,99	-R\$ 8.208,01
2	R\$ 15.761,31	-R\$ 3.926,90
3	R\$ 17.770,88	R\$ 446,79
4	R\$ 20.036,67	R\$ 4.914,77
5	R\$ 22.591,35	R\$ 9.478,75

Ano	Saldo CDI	Saldo Energia Solar
6	R\$ 25.471,74	R\$ 14.140,48
7	R\$ 28.719,39	R\$ 18.901,71
8	R\$ 32.381,11	R\$ 23.764,22
9	R\$ 36.509,70	R\$ 28.729,79
10	R\$ 41.164,69	R\$ 33.800,25
11	R\$ 46.413,19	R\$ 38.977,40
12	R\$ 52.330,87	R\$ 44.263,09
13	R\$ 59.003,05	R\$ 49.659,17
14	R\$ 66.525,94	R\$ 55.167,51
15	R\$ 75.008,00	R\$ 60.789,99
16	R\$ 84.571,52	R\$ 66.528,50
17	R\$ 95.354,39	R\$ 72.384,93
18	R\$ 107.512,08	R\$ 78.361,20
19	R\$ 121.219,87	R\$ 84.459,24
20	R\$ 136.675,40	R\$ 90.680,96
21	R\$ 154.101,51	R\$ 97.028,30
22	R\$ 173.749,45	R\$ 103.503,19
23	R\$ 195.902,51	R\$ 110.107,59
24	R\$ 220.880,08	R\$ 116.843,42
25	R\$ 249.042,29	R\$ 123.712,64

Fonte: A autora, 2024.

Na Figura 17 é mostrado um gráfico dos cálculos feitos comparando investimento de CDI com o investimento da energia fotovoltaica.

Figura 17 - Gráfico comparativo de CDI.



Fonte: A autora, 2024.

Na figura 17 observa-se que quando é comparado o investimento da energia solar com o investimento da mesma quantia em CDI, rendendo 12,75% ao ano, ao final dos 25 anos de estudo O CDI renderia cerca de R\$125.329,65 reais a mais que a energia solar.

Como o calculo foi baseado em uma média do CDI nos últimos 25 anos, sabe-se que esse valor final não seria tão confiável, visto que se trata de um investimento volátil, que possuem altos e baixos e sua variação é diária.

Com essa informação resolveu-se calcular e mostrar na Tabela 12 qual seria a média máxima anual de investimento para que esse dimensionamento seja viável e foram encontrados os seguintes valores:

- Investimento tendo um rendimento anual de 9,62% ao ano;
- Decaimento da produção de energia dos painéis em 0,8% ao ano.

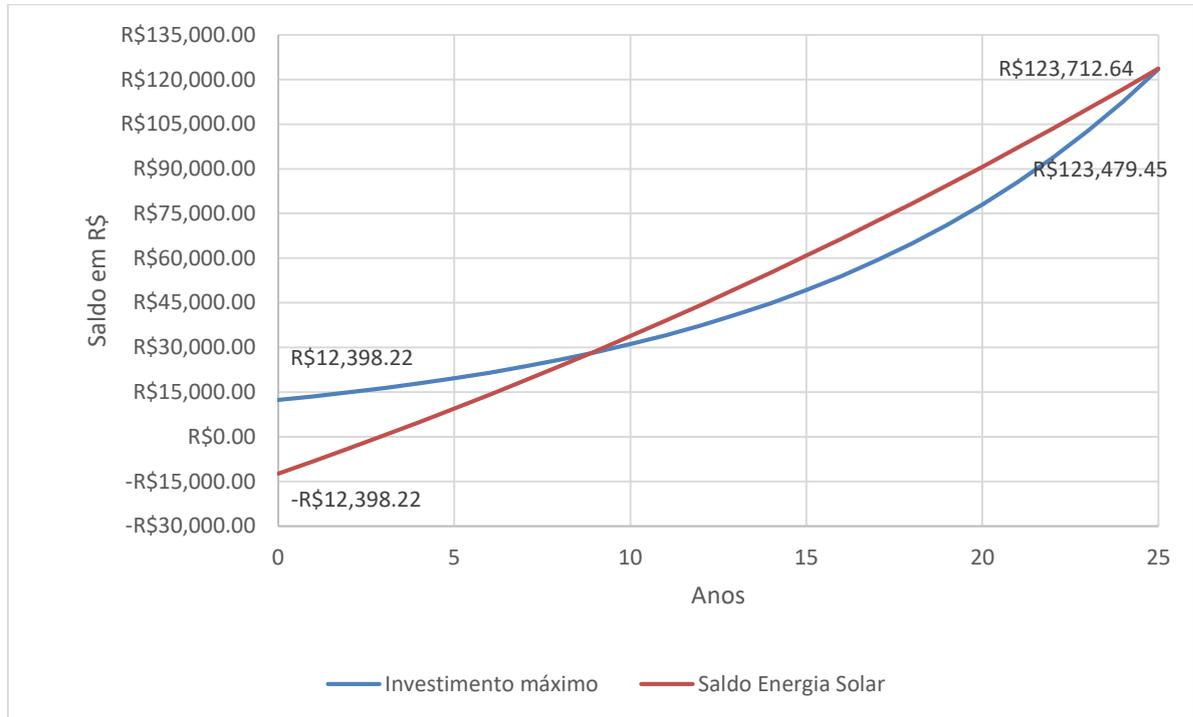
Tabela 12 - Investimento máximo comparando com energia solar.

Ano	Investimento máximo	Saldo Energia Solar
0	R\$ 12.398,22	- R\$ 12.398,22
1	R\$ 13.592,17	- R\$ 8.208,01
2	R\$ 14.901,09	- R\$ 3.926,90
3	R\$ 16.336,07	R\$ 446,79
4	R\$ 17.909,23	R\$ 4.914,77
5	R\$ 19.633,89	R\$ 9.478,75
6	R\$ 21.524,64	R\$ 14.140,48
7	R\$ 23.597,46	R\$ 18.901,71
8	R\$ 25.869,89	R\$ 23.764,22
9	R\$ 28.361,16	R\$ 28.729,79
10	R\$ 31.092,35	R\$ 33.800,25
11	R\$ 34.086,54	R\$ 38.977,40
12	R\$ 37.369,07	R\$ 44.263,09
13	R\$ 40.967,71	R\$ 49.659,17
14	R\$ 44.912,90	R\$ 55.167,51
15	R\$ 49.238,02	R\$ 60.789,99
16	R\$ 53.979,64	R\$ 66.528,50
17	R\$ 59.177,88	R\$ 72.384,93
18	R\$ 64.876,71	R\$ 78.361,20
19	R\$ 71.124,33	R\$ 84.459,24
20	R\$ 77.973,61	R\$ 90.680,96
21	R\$ 85.482,46	R\$ 97.028,30
22	R\$ 93.714,43	R\$ 103.503,19
23	R\$ 102.739,13	R\$ 110.107,59
24	R\$ 112.632,90	R\$ 116.843,42
25	R\$ 123.479,45	R\$ 123.712,64

Fonte: A autora, 2024.

Na Figura 18 é possível observar esse investimento máximo em formato de gráfico para comparação final.

Figura 18 - Gráfico comparativo com investimento máximo.



Fonte: A autora, 2024.

Na figura 18 observou-se que quando é feito o gráfico de comparação com um investimento de 9,62% ao ano o retorno seria bem próximo do investimento em energia solar, ou seja, no caso da empresa em questão esse seria o máximo de rendimento anual para que o projeto fosse viável.

6 CONCLUSÃO

Após a análise de todos os dados apresentados, a partir do dimensionamento fotovoltaico da empresa em questão, é possível observar alguns pontos sobre a viabilidade econômica do projeto.

Sabe-se que, de maneira geral, os cálculos de payback e seus retornos em sistemas fotovoltaicos são baseados no rendimento da poupança. Nesse cenário, o investimento seria rentável ao longo dos 25 anos de retorno.

No caso do investimento em CDI, ao comparar com o retorno da energia fotovoltaica, foi possível observar que seria mais rentável aplicar o dinheiro. Ou seja, nos casos de projetos fotovoltaicos, é necessário entender o perfil do cliente e, através dos cálculos realizados, determinar se o investimento seria ou não rentável.

Para a empresa estudada, chegou-se à conclusão de que a instalação de energia fotovoltaica não seria ideal. Isso porque, para utilizar um valor do capital de giro que poderia estar aplicado no CDI ou em produtos que geram lucro para a empresa, como investir na compra de peças para revenda, o lucro com o valor total do projeto seria maior e com um retorno mais rápido.

Vale lembrar que este é apenas um estudo de caso e que nem sempre a conclusão será de que não é viável a execução do projeto. Dependendo do investimento e da necessidade do cliente, o projeto pode ser viável.

Quando o assunto é investimento, e o fator principal é o retorno financeiro, deve-se sempre fazer essa avaliação de diferentes tipos de investimentos possíveis com o valor a ser gasto no projeto. No entanto, é importante lembrar a relevância das energias renováveis para o mundo atual, considerando esse fator ao planejar projetos fotovoltaicos.

ABSTRACT

The main objective of this work is to present not only the sizing but also an economic and financial feasibility analysis along with the necessary investment for the acquisition of a photovoltaic power plant to be installed on the roof of a small company in the city of Juiz de Fora, Minas Gerais. Photovoltaic energy has been widely growing in Brazil, which is very promising due to the high solar irradiation, and it can transform homes or businesses into self-sufficient energy producers. The case study in this work shows the cost for the installation connected to the electricity distributor (On-Grid) of the company and its financial analyses, such as the payback and its comparison with investment in savings accounts and also with the Interbank Deposit Certificate (CDI), with the final goal of evaluating the investment possibility, that is, analyzing the returns for the idle capital that the company has and aims to profit from.

Keywords: Photovoltaics. Solar energy. On-Grid. payback. Sustainability. Energy Efficiency.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 5410:2004**. Disponível em: <<https://www.guiadaengenharia.com/wp-content/uploads/2019/02/tabelas-completas-5410.pdf>>, Acesso em: 22 de maio de 2024.

ALVES, Marliana de Oliveira Lage. **Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid.** 2019. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2019.

ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST.** 2012.

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil.** 3. ed. – Brasília : Aneel, 2008.
Disponível em: <
https://www.fisica.net/energia/atlas_de_energia_eletrica_do_brasul_3a-ed.pdf>,
Acesso em: 24 de maio de 2024.

BEZERRA, Francisco Diniz. **ENERGIA SOLAR. 2021. 15 f. Tese (Doutorado) - Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente,** Etene, Fortaleza, 2021.

CRESESB. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.

FREITAS, Susana Sofia Alves. **Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos.** 2008. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Industrial, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2008.

GREENPRO, Altener Programa Comunitário. **Energia Fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação.** Europa: Comissão Europeia, 2004.

INVESTIDOR 10. Disponível em: <<https://investidor10.com.br/indices/cdi/>> . Acesso em 06 de junho de 2024.

MATAVELLI, Augusto Cesar. **Energia solar: geração de energia elétrica utilizando células fotovoltaicas.** 2013. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, Lorena, 2013.

MINHA CASA SOLAR; Disponível em: <<https://www.minhacasasolar.com.br/>>
Acesso em 22 de maio de 2024.

NASA Langley Atmospheric Sciences Data Center. **Solar: Average Monthly and Annual Global Horizontal Irradiance Data, One-Degree Resolution of the World from NASA/SSE, 1983-2005.** 2008. Disponível em: <<https://earthworks.stanford.edu/catalog/stanford-xx487wn6207>> Acesso em: 15 junho. 2021.

NEO SOLAR. **Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes.** Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>> Acesso em 08 de junho de 2021.

OCA ENERGIA. **Sistema Fotovoltaico Híbrido: Entenda o Que é e Suas Aplicações?.** Disponível em: <<https://www.ocaenergia.com/sistema-fotovoltaico-hibrido-entenda-o-que-e/>> Acesso em 06 de junho de 2021.

PORTAL ENERGIA. **Como escolher o melhor inversor para o Sistema Solar da minha casa?.** Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/como-escolher-o-melhor-inversor-para-o-sistema-solar-da-minha-casa/>> Acesso em: 06 de junho de 2021.

SAUER, Camila. **Análise de viabilidade econômica para instalação de microgeradores fotovoltaicos conectados à rede distribuidora (on grid) - análise de payback.** 2015. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Santa Rosa, 2015.

VALLÊRA, Antônio M.; BRITO, Miguel Centeno. **Meio século de História Fotovoltaica;** Gazeta de Física, v. 29 n 1, p. 10-15; 2006.