

ANÁLISE ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NA ACADEMIA DA FORÇA AÉREA: ESTUDO DE VIABILIDADE E RENTABILIDADE¹

ECONOMIC ANALYSIS OF A PHOTOVOLTAIC ENERGY SYSTEM AT THE AIR FORCE ACADEMY: FEASIBILITY AND PROFITABILITY STUDY

João Pedro Toledo Fernandes

Marina Pelegrini²

Katia Ferreira Oliveira³

RESUMO

O desenvolvimento de um País está relacionado diretamente com a produção de energia. A vista dessa assertiva, vive-se, desde a crise hídrica de 2021, com a preocupação sobre o fornecimento de energia elétrica e o conseqüentemente aumento das tarifas de energia. Desse modo, o mercado está em busca de meios mais eficientes e de menor custo de produção de energia elétrica. Neste contexto, a oportunidade de se produzir energia através de um sistema fotovoltaico vem se tornando cada vez mais atrativo e, a fim de definir a possibilidade de se instalar esse sistema na Academia da Força Aérea (AFA), este artigo apresenta estudos baseados em análises econômicas que definirão se, nos dias de hoje, é viável ou não a instalação dos painéis solares. Primeiramente, foi-se analisado o consumo de energia elétrica da AFA, do qual a medida do sistema foi tomada e, conseqüentemente, conseguiu-se orçar o sistema necessário para suprir a demanda. Com o orçamento finalizado, os métodos econômicos puderam ser aplicados, do mais simples ao mais complexo, calculando primeiro o período de *payback*, em seguida o Valor Presente Líquido (VPL) e, por último e mais complexo, a Taxa Interna de Retorno (TIR). Como o projeto foi considerado viável em todos estes métodos, a conclusão foi de que a instalação do sistema de placas fotovoltaicas é recomendado tanto do ponto de vista ambiental quanto financeiro.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica; usina fotovoltaica; TIR; VPL; *payback*.

¹Artigo de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAv) da Academia da Força Aérea (AFA).

²Doutorado e Mestrado em Ciências, na área de Física Atômica e Molecular pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Graduação em Bacharel em Química pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo (FFCLRP-USP).

³Profª de Matemática formada pela Universidade Federal de Viçosa, Engenheira de Produção pela Universidade Federal Fluminense e Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas CEFET RJ.

ABSTRACT

A country's development is directly related to energy production. Given this assertion, since the 2021 water crisis there has been concern about the supply of electricity and the consequent increase in energy costs. Therefore, the market is looking for more efficient and lower-cost ways of producing electricity. In this context, the opportunity to produce energy through a photovoltaic system has become increasingly attractive and, in order to define the possibility of installing this system at the Air Force Academy (AFA), this article will present studies based on economic analysis which will define whether or not the installation of solar panels is viable today. Firstly, the AFA's electricity consumption will be analyzed, from which the system will be measured and, consequently, the system needed to meet demand will be budgeted. Once the budget has been finalized, the economic methods can be applied, from the simplest to the most complex, first calculating the payback period, then the Net Present Value (VPL) and, lastly and most complexly, the Internal Rate of Return (TIR). If the project is considered viable in all these methods, the installation of the system would be recommended.

Keywords: Photovoltaic energy; economic analysis; TIR; VPL; payback

INTRODUÇÃO

Em 2021, uma crise energética trouxe insegurança e aumento das tarifas para os lares brasileiros. De acordo com Borges (2021), um dos motivos para que houvesse a crise, além do baixo nível de chuvas e da falta de planejamento estratégico no setor elétrico, foi a dependência da fonte hídrica que o país possui. Em concordância com os dados supracitados, tem-se uma Matriz Elétrica de origem hídrica de 56,8% de toda geração produzida pelo Brasil.

Devido aos problemas hídricos, torna-se mais viável o uso da energia alternativa disponível no planeta diariamente, aquela proveniente do Sol. Sabe-se que o Brasil é privilegiado nesse quesito, com elevadas taxas de irradiação solar e que o potencial de geração de energia solar fotovoltaica no país é pelo menos dez vezes superior do que o instalado na Alemanha, país que, atualmente, produz mais energia através de painéis solares (Villalva, 2012, p.34-35). Espera-se que quando todas as barreiras técnicas, regulatórias e econômicas forem vencidas, seja criada na sociedade brasileira uma cultura de geração de energia através de sistemas fotovoltaicos (Villalva, 2012, p.37).

É economicamente viável ou não instalar um sistema fotovoltaico na Academia da Força Aérea? Este trabalho é importante para definir as possibilidades de substituição do sistema atual por um mais eficiente, como o sistema fotovoltaico e se sua obtenção justificará seus custos de obtenção, instalação e manutenção.

Caso o estudo comprove que seja inviável economicamente a substituição do sistema em uso, ainda assim será de grande importância para a AFA, visto que poderá ser utilizado como alternativa para futuras consultas sobre o tema. Os indicadores de Payback, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) vão se alterar à medida que os custos com a implantação forem diminuindo.

Caso demonstre ser viável, os benefícios irão extrapolar a parte econômica, trazendo, também, benefícios ambientais e sociais para a AFA. Além de propiciar à guarnição um sistema naturalmente mais sustentável, uma vez que, com a diminuição da requisição de energia da distribuidora, há menos volatilidade nos custos gerados, baseados em tarifas e consumo.

A implementação de energia fotovoltaica está em concordância com as normas editadas pela Força Aérea Brasileira (FAB), haja visto a Instrução de Comando da Aeronáutica (ICA) 400-45: Implantação do Programa de Eficiência Energética (PEE) cujo objetivo é:

2.1.1 Promover o uso eficiente da energia elétrica em todas as OM do COMAER, por meio de conscientização do usuário e implantação de projetos de melhoria da eficiência energética de equipamentos, instalações e usos finais de energia, respeitando critérios de viabilidade econômica.

2.1.2 O PEE deverá maximizar os benefícios da energia economizada e da demanda evitada, estimulando a criação de hábitos e práticas racionais do uso da energia elétrica.

Dessa forma, por meio da análise dos indicadores supracitados, o estudo demonstrará a viabilidade econômica da instalação de um sistema de energia fotovoltaica na AFA, por meio da apresentação dos dados dos custos e dos preços; estimar a energia solar que pode ser gerada na localidade escolhida; aplicar os métodos de análise sobre os custos das placas para, por fim, apresentar os resultados da viabilidade econômica do projeto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

De acordo com Villalva (2012, p. 16), fontes renováveis de energia são aquelas às quais o ser humano não consegue esgotar usando normalmente, por isso, sempre se renovam. Estas desempenham o papel principal na transição para um sistema energético global mais sustentável.

Alguns exemplos desse tipo de energia são, a eólica, a hidrelétrica, geotérmica, de biomassa e a solar, que podem ser térmica ou fotovoltaica. Tais fontes representam uma alternativa mais benéfica ao planeta e a seus habitantes frente aos combustíveis fósseis tradicionais, reduzindo as emissões de gases do efeito estufa e mitigando os impactos de mudanças climáticas globais.

Ainda segundo Villalva (2012, p. 18-19), as tradicionais fontes de energia ainda são a base da matriz energética mundial, como as termelétricas e hidrelétricas, mas tem se observado cada vez mais a participação de fontes alternativas de eletricidade, como geradores eólicos, sistemas solares térmicos e sistemas solares fotovoltaicos. Os custos das fontes renováveis de energia estão caindo, com o aprimoramento da tecnologia empregada e o seu uso em larga escala.

Além dos benefícios econômicos, é interessante notar que não há só vantagens econômicas na produção alternativa de energia, existem ganhos associados. Villalva descreve que a energia solar fotovoltaica gera demanda de pesquisa científica e tecnológica, além de originar cadeias de produção de materiais e uma infraestrutura de fornecimento destes, gerando empregos para a população local e segmentando os investimentos de energia.

Conforme demonstrado na figura 1, os custos de produção das diversas fontes de energia são bastante divergentes; tem-se um preço de R\$113,00 para a energia eólica e de R\$115,00 para a energia solar e de R\$183,00 para a energia Hidrelétrica, o que mostra as vantagens econômicas entre as diversas fontes de produção de energia.

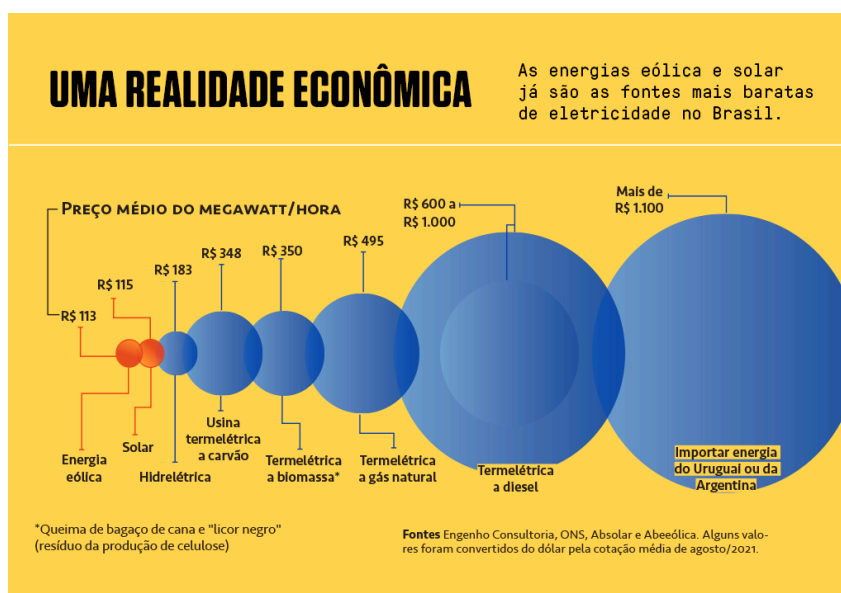


Figura 1 Preço Médio do Megawatt/hora

Fonte: Natalia Sayuri Lara, Superinteressante (2021)

2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia fotovoltaica utiliza o efeito fotovoltaico para converter a luz do Sol em energia elétrica. Enquanto os sistemas solares térmicos são empregados para realizar aquecimento ou produzir eletricidade, os sistemas fotovoltaicos captam a luz e produzem corrente elétrica a partir dela. Existem dispositivos controladores e conversores que coletam a corrente e a armazenam em baterias ou suprem diretamente a rede elétrica (Villalva, 2012, p. 21).

As placas que captam a luz solar são compostas de material semicondutor (silício), ao qual se adiciona substâncias dopantes a fim de permitir movimentação eletrônica quando há incidência de radiação solar, gerando corrente contínua (Molina, 2015). Esse material tem o custo por watt caindo exponencialmente nas últimas décadas, diminuindo de \$76,00 em 1977 para \$0,36 em 2014 (Diamandís, 2014), o que evidencia as vantagens crescentes do investimento em painéis solares, com o barateamento do custo.

2.2.1 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede (*On-grid*)

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, também conhecidos como *on-grid*, são aqueles que estão conectados à rede pública de energia e se valem da instalação fotovoltaica para consumo próprio, injetando o excedente na rede (Vian, 2021).

Algumas das vantagens deste tipo de sistema, segundo Akira (2024), são: a redução da conta de energia, uma vez que há uma redução na energia demandada da distribuidora; retorno financeiro, uma vez que há a possibilidade de se acumular créditos de participação de geração; simplicidade e facilidade de manutenção e contribuição ambiental.

Como desafios deste sistema, ainda de acordo com Akira (2024), têm-se: dependência da rede, uma vez que não há um banco de baterias para armazenamento de energia, havendo dependência da rede; políticas de incentivo, que variam de região para região e fazem a diferença na taxa de atratividade do investimento; estabilidade da rede elétrica.

2.2.2 Sistemas fotovoltaicos isolados (*Off-grid*)

Os sistemas fotovoltaicos isolados, conhecidos também como *off-grid*, são aqueles que não se conectam com as redes públicas de distribuição de energia, sendo a energia produzida absorvida localmente (Vian, 2021). Requer a implementação de um banco de baterias para o armazenamento da energia excedente produzida, possibilitando o seu uso fora do período de incidência solar (Gasparin, 2018)

Como vantagens, Akira (2024) aponta: a independência do sistema, visto que o armazenamento de energia pelas baterias permite a utilização de energia em qualquer horário; a flexibilidade do sistema; a contribuição para o meio ambiente.

As desvantagens são a necessidade de manutenção periódica mensal, devido a necessidade de manutenção preventiva para evitar a diminuição da vida útil destas e a aquisição de mais componentes, sejam mais baterias, seja um controlador de carga para estabilizar a energia produzida e enviá-la ao banco de baterias.

2.2.3 Grid-Zero

O conceito do *zero-grid* é recente e se trata mais de uma estratégia de controle de exportação da energia produzida numa usina fotovoltaica para a rede elétrica do que de um sistema propriamente dito, visto que para se obter o *zero-grid*, há, necessariamente, uma conexão da usina fotovoltaica com a rede elétrica (Souza, 2022).

O *zero-grid* vem como uma solução das necessidades emergentes de não se poder injetar energia gerada na rede elétrica, a fim de não gerar problemas como o blecaute que afetou todo o Brasil em 2018, quando a região Norte do país ficou com excesso de geração, o que provocou sobretensão nas linhas de transmissão e seu consequente desligamento, ocasionando em um blecaute em todo o país e, principalmente, na região Norte, segundo informações do relatório divulgado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) após o ocorrido.

Para exemplificar a estratégia, Souza (2022), escreve a seguinte situação hipotética:

Por exemplo, considere que em um determinado momento uma unidade consumidora está consumindo 80 kW e o sistema fotovoltaico está gerando 100 kW. Nesse caso, sem um controle de exportação, teríamos um autoconsumo de 80 kW e a injeção de 20 kW na rede

elétrica. Por outro lado, com um controle de exportação configurado para não injetar energia na rede, teríamos um medidor de energia inteligente enviando a informação para o inversor de que as cargas da unidade consumidora estão consumindo 80 kW e o inversor, por sua vez, ajustaria sua potência para gerar apenas 80 kW. Desta forma, nenhuma quantidade de energia excedente seria injetada na rede elétrica.

O grid-zero é apresentado como solução para locais em que países ou distribuidoras não permitem a injeção de energia total ou parcial na rede elétrica, permitindo que consumidores destes locais consigam manter seus sistemas fotovoltaicos, mediante adequações no controle de exportação dos mesmos.

2.3 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

É interessante salientar como é entendido o consumo e como este é taxado, na ótica das distribuidoras de energia. Segundo Hinrichs (2014, p.422), existe um novo sistema para estabelecer essas taxas de consumo, chamado de “preço por horário de uso”. O consumidor é cobrado pelo horário do dia em que utiliza a eletricidade. Os horários fora de pico são aqueles em que a demanda geral é menor e geralmente ocorrem entre as 9 e as 19 horas e, conseqüentemente, as tarifas são menores. Por outro lado, os horários de pico são aqueles em que a maioria das pessoas utiliza mais energia, geralmente no início da noite, levando a tarifas mais altas.

Para a AFA, a concessionária Elektro define o horário de pico das 17:30h às 20:30h. Horários fora de pico são o restante.

2.4 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Para realizar um investimento de longo prazo como a instalação do sistema fotovoltaico, precisa-se considerar a utilização de métodos de avaliação econômica a fim de se apurar os resultados e a atratividade com exatidão. Para serem aceitas, as propostas devem oferecer retorno mínimo para a AFA e, para isso, utiliza-se a abordagem de “aceitar-rejeitar”, em que ofereçam, pelo menos minimamente, esse retorno (Assaf e Lima, 2019, p.393). Para o projeto, os métodos de *payback*, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) serão os indicadores de aprovação ou rejeição.

2.4.1 Payback

Segundo Assaf e Lima (2019), o período de *payback* consiste na determinação do tempo necessário para que o investimento inicial seja recuperado pelas entradas de caixa provenientes do investimento. Dois tipos de *payback* são de interesse, o efetivo e o descontado. O efetivo é o mais simples de se calcular, pois não se leva em conta o valor do dinheiro no tempo. Tem-se então que é apenas o tempo que demora para recuperar o valor investido. O descontado considera todos os fluxos de caixa no valor presente, incorporando o conceito do valor do dinheiro no tempo.

Segundo Gitman (2010, p. 366), o cálculo do *payback* efetivo, que será utilizado no trabalho, é feito através do acúmulo das entradas de caixa anuais até a recuperação do investimento inicial. Se o período de *payback* for menor do que o período máximo aceitável de *payback*, aceita-se o projeto e, caso este período seja maior do que o aceitável, rejeita-se o projeto.

Algumas vantagens, ainda segundo Gitman, são a simplicidade do cálculo e do apelo intuitivo. Considera os fluxos de caixa e não o lucro contábil. O *payback* é utilizado por muitas empresas como medida suplementar para outras técnicas decisórias, como o VPL e a TIR. Por outro lado, existem fragilidades no método, sendo a principal delas a subjetividade do método, que, apesar de auxiliar no processo decisório, não permite determinar se o investimento agrega ao valor da empresa

2.4.2 Valor Presente Líquido (VPL)

Segundo Gitman (2010, p.369), o Valor Presente Líquido leva em conta o valor do dinheiro no tempo e consiste no retorno mínimo que um projeto precisa proporcionar para manter o valor de mercado da empresa. É obtido através da subtração do investimento inicial do valor presente de suas entradas de caixa, descontadas da taxa de juros da empresa. Ainda segundo Gitman (2010, p. 369): “O VPL é encontrado subtraindo-se o investimento inicial de um projeto (FC_0) do valor presente de suas entradas de caixa (FC_t), descontadas à taxa de custo de capital da empresa (r).” A fórmula do VPL está exemplificada abaixo:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} - FC_0$$

Figura 5 Fórmula do Valor Presente Líquido

Fonte: Princípios da Administração Financeira (2010, p. 366).

Como critério de decisão, se o VPL for maior que \$0, o projeto deverá ser aceito e, sendo menor que \$0, deverá ser recusado. Com um VPL maior que \$0, a empresa obtém retorno maior do que o custo do seu capital, o que aumenta o valor da empresa correspondentemente ao VPL do projeto.

2.4.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno, de acordo com Gitman (2010, p.244), talvez seja a técnica mais utilizada, com cálculo mais difícil que o VPL. A TIR iguala o VPL de uma taxa de investimento a \$0. É composta de retorno anual que a empresa obteria se realizasse o projeto e recebesse as entradas de caixa previstas. Quando a TIR for maior que o custo de capital, deve-se aceitar o projeto. Sendo menor que o custo de capital, o projeto deverá ser recusado.

A fórmula se baseia na taxa de desconto que faz com que o VPL obtido seja igual a \$ 0.

$$\$ 0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} - FC_0$$

Figura 5 Fórmula do Valor Presente Líquido

Fonte: Princípios da Administração Financeira (2010, p. 371).

Essa técnica é complexa e, por tentativa e erro, testa várias taxas de desconto até encontrar a que iguala o VPL a \$0.

3 METODOLOGIA

A partir dos estudos realizados por Vergara (2006), o trabalho se baseia em dois tipos de pesquisa: quanto aos fins e quanto aos meios.

Quanto aos fins, entende-se esta como uma pesquisa aplicada, que tem por motivação resolver um problema concreto, mesmo não sendo imediato. Como há finalidade prática, se

distingue da pesquisa pura, que está relacionada à curiosidade do pesquisador. Quanto aos meios, realizar-se-á uma pesquisa bibliográfica, em que serão extraídos os dados necessários da energia fotovoltaica, das legislações brasileiras sobre energia elétrica e sobre os dados dos indicadores das taxas de retorno (VPL, TIR e Payback).

O trabalho será realizado com o gasto energético de toda a Academia, dadas as informações obtidas, que contemplam as contas de luz de todas as instalações. Os dados foram coletados com o apoio da Subseção de Elétrica da AFA (Academia da Força Aérea) e com a Subdivisão de Infraestrutura, relacionados aos valores pagos à concessionária de energia elétrica e à quantidade de placas que já estão dispostas e estocadas, porém ainda não instaladas.

O trabalho tem a seguinte forma: primeiramente uma revisão bibliográfica de todos os termos necessários, para facilitar o entendimento do leitor, juntamente com um panorama geral das situações únicas relacionadas à localidade e as limitações do projeto. Posteriormente, os dados coletados são apresentados e, com eles, a análise com os indicadores de retorno serão utilizados sobre esses, comparando-os com a estimativa de quanto de energia solar se conseguiria gerar com certo número de painéis solares. Com os resultados, será possível viabilizar ou não a instalação. Finalmente, o trabalho concluir-se-á com uma recapitulação de tudo o que foi apresentado, o resultado obtido e as impressões do autor.

4 DESENVOLVIMENTO

Inicialmente, é interessante evidenciar que a Academia da Força Aérea conta com um efetivo de aproximadamente dois mil militares, contando com instalações como o Corpo de Cadetes, que somam quase 800 cadetes, hospital, prefeitura, Fazenda de Aeronáutica, Hangares e pistas, além de vilas de Oficiais, de Suboficiais e Sargentos e de Cabos e várias outras instalações, o que, por conseguinte, perfaz um gasto mensal muito elevado em todos os aspectos, mas, neste trabalho, especialmente o gasto energético.

O desenvolvimento deste trabalho tomou como base o Estudo Técnico Preliminar de Engenharia (ETPE), realizado em 2023 pelo Tenente Engenheiro Elétrico Guedes (DTINFRA-SJ, 2023) e o Caderno de Necessidades, do Tenente Engenheiro de Produção Rigamonti (AFA, 2023), os quais realizaram estudos prévios na implementação de uma usina fotovoltaica na AFA.

4.1 Consumo de energia na AFA

A AFA possui contrato de fornecimento de energia com a distribuidora Elektro e, por isso, possui tarifas diferentes dos demais contratantes, baseado em demanda mensal, com custo médio de R\$0,42 por KWh (kilowatt-hora) de energia de fora de pico e R\$0,26 por KWh de energia de pico, segue abaixo a tabela de valores dos boletos das contas de energia da AFA no ano de 2023, entre Janeiro e Dezembro.

Tabela 1 Dados dos custos de energia elétrica na AFA no ano de 2023

Mês	Consumo de pico (KWh)	Tarifa (R\$)	Consumo fora de pico (KWh)	Tarifa (R\$)	Valor da Conta (R\$)
Janeiro	40.314	0,405300	414.413	0,253870	437.185,93
Fevereiro	8.304	0,405300	81.239	0,253870	75.692,19
Março	49.800	0,405300	485.979	0,253870	401.166,32
Abril	68.095	0,405300	608.706	0,253870	460.817,72
Mai	47.387	0,405300	474.009	0,253870	389.688,34
Junho	53.772	0,405300	424.011	0,253870	365.063,06
Julho	47.100	0,405300	370.787	0,253870	342.541,51
Agosto	43.145	0,405300	371.965	0,253870	342.551,33
Setembro	55.468	0,413861	435.679	0,260502	382.234,95
Outubro	54.359	0,458380	549.563	0,294990	468.843,11
Novembro	58.603	0,458380	595.224	0,294990	483.985,48
Dezembro	56.925	0,458380	652.942	0,294990	529.074,13
Total	583.272	-	5.454.517	-	4.678.844,07
Média	48.606	0,418950	455.376	0,264703	389.903,67

Fonte: Dados da conta de Energia da AFA emitido pela Elektro (adaptado).

Através da tabela acima, percebe-se que o consumo da unidade é bastante elevado e demanda um gasto mensal igualmente grande. O consumo médio de energia de pico no ano de 2023 foi de 48.606 KWh, enquanto o consumo médio de energia fora de pico foi de 455.376 KWh, gerando um custo mensal médio de R\$389.903,67, além de um gasto total de energia, no ano de 2023, de R\$4.678.844,07.

4.2 Localização e potencial de geração fotovoltaica

Através do *site* do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, é possível acessar o programa *SunData*, que consegue calcular a irradiação solar diária mensal em qualquer ponto do território nacional e auxilia no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

Há uma área, disponibilizada pela Guarnição de Aeronáutica de Pirassununga, que conta com aproximadamente 29.930 m² (AFA, 2023), próxima às instalações do Corpo de Cadetes da Aeronáutica, disponibilizada para a possível construção da usina em questão.

Discriminando as coordenadas desta área (latitude 21,98673° S e longitude 47,33066° O) no programa *SunData*, consegue-se obter o potencial solar do respectivo local.

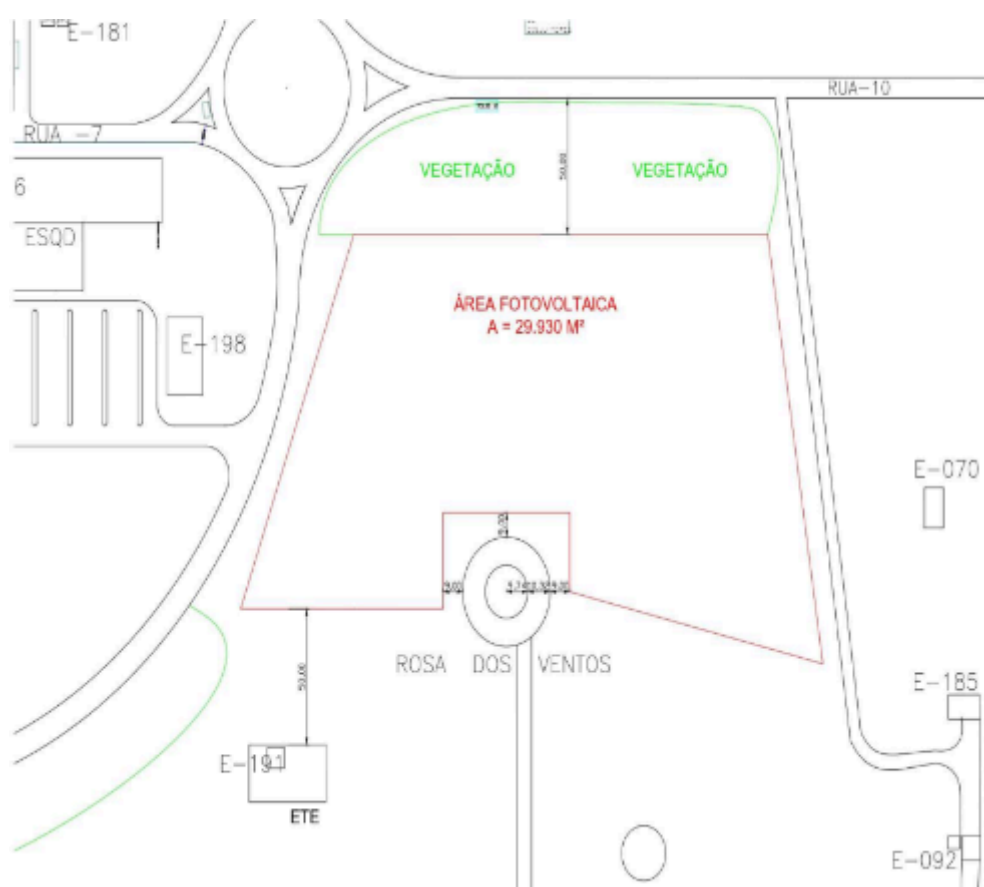
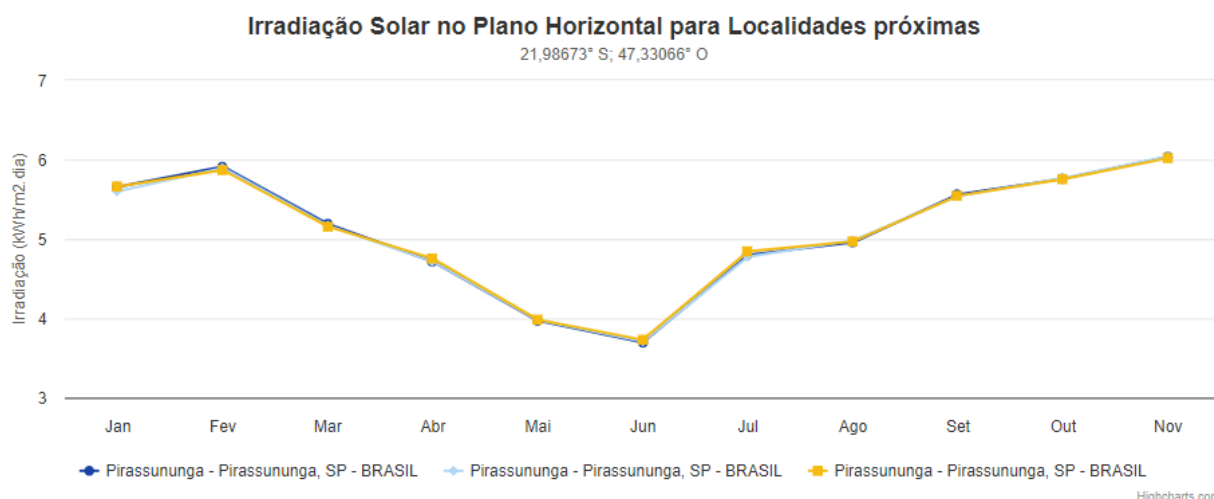


Figura 2 Área disponível para implantação da Usina

Fonte: Caderno de necessidades (2023, p. 4)



Estação: Pirassununga
Município: Pirassununga , SP - BRASIL
Latitude: 22° S
Longitude: 47,249° O
Distância do ponto de ref. (21,98673° S; 47,33066° O) :8,6 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,60	5,90	5,17	4,71	3,98	3,71	3,89	4,78	4,98	5,54	5,77	6,04	5,01	2,33
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	22° N	5,08	5,62	5,31	5,32	4,89	4,78	4,92	5,64	5,30	5,41	5,29	5,38	5,25	,86
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	21° N	5,12	5,65	5,31	5,31	4,86	4,75	4,89	5,62	5,30	5,43	5,33	5,43	5,25	,90
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	26° N	4,94	5,51	5,27	5,37	5,00	4,92	5,05	5,73	5,30	5,33	5,15	5,21	5,23	,81

Figura 3 Dados de Irradiação Solar da AFA

Fonte: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>

Com dados do gráfico acima, obtém-se uma média anual de 5,25 KWh/m² por dia, ou seja, a cada metro quadrado ocupado por painéis solares nesta localidade, 5,25 KWh podem ser produzidos, em média, por dia do ano.

Existem ainda certas peculiaridades com relação à instalação de uma usina na AFA. Em Cachoeira de Emas, há um projeto de reativação da Pequena Central Hidrelétrica (PCH) da cidade, que gerará, em média, 3.000 MWh por mês, o que poderá abastecer 15.000 residências (Aratu, 2022). A usina fotovoltaica da AFA não poderá injetar energia na rede elétrica, a fim de mitigar problemas como o apagão em grande parte do país em 2018, ocasionado pela sobrecarga de produção de energia no Nordeste. O sistema elétrico da Academia, por se conectar à rede elétrica apenas por Cachoeira de Emas, não permite que haja essa injeção na rede, uma vez que ao mínimo sinal de injeção, a PCH interromperia o fluxo de energia com a AFA, gerando um blecaute nesta, a fim de se evitar um blecaute em Cachoeira de Emas por excesso de geração, hajam vistas as

capacidades de uma usina na Academia. Por tais motivos, um sistema *on-grid*, apesar de ideal, não é uma realidade para os próximos anos, haja visto o material já adquirido se tornando ultrapassado e a possibilidade de se iniciar uma usina o quanto antes, até que novos meios de conexão à rede possam ser explorados.

Um sistema *off-grid* também é rapidamente descartado, pois não é viável pelo custo das baterias e por sua manutenção mensal. Sistemas *off-grid*, por seu custo elevado, são recomendados para áreas remotas e sem possibilidade de conexão à rede, sistemas de pequeno porte, o que não é a realidade da Academia

A solução é a implementação de um sistema *zero-grid*, que permitirá a produção de energia apenas para consumo imediato, sem injetar energia na rede elétrica e não prejudicar a produção da PCH de Cachoeira de Emas.

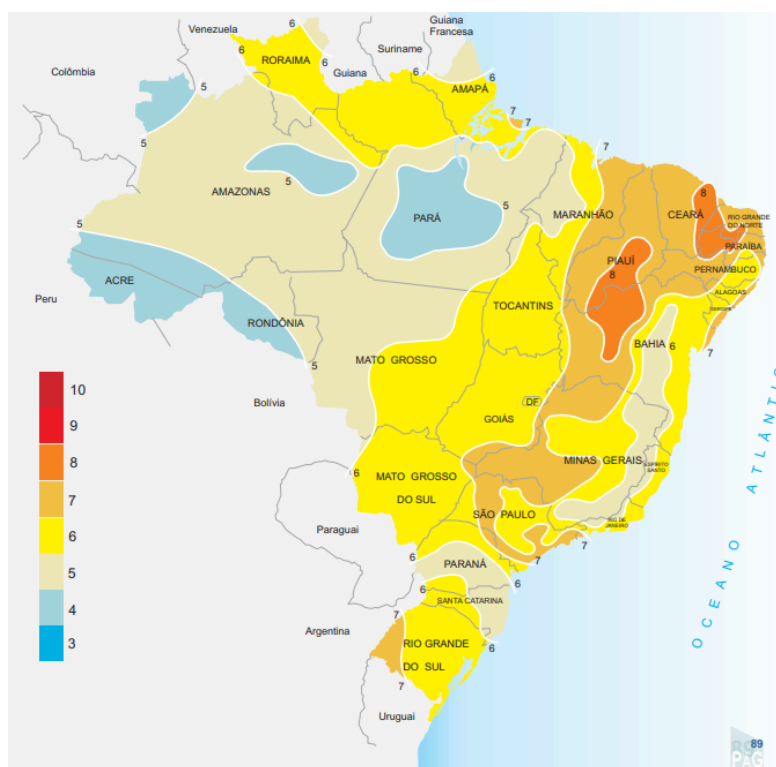


Figura 4 Insolação diária média anual

Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil (2000, p. 89).

Entende-se, portanto, que a produção de energia fotovoltaica se dará apenas enquanto a luz do Sol estiver alimentando o sistema. A figura acima nos mostra a insolação diária média do Brasil.

Especificamente em Pirassununga, vê-se que a média de insolação diária é de 6 horas por dia, sendo este o tempo no qual a usina será capaz de gerar energia.

4.3 Viabilidade econômica da instalação da usina de energia fotovoltaica.

A Academia da Força Aérea possui em estoque 1080 módulos fotovoltaicos de 440 Wp, além de 10 inversores de frequência. A perda média pela dissipação do calor na placa é de 20%. Tem-se então os dados para calcular a produção de uma placa por dia. Na última linha da Tabela 2, foi inserido o total por mês. Para fins de cálculo, entende-se que um mês tem 30,417 dias, de acordo com a divisão dos 365 dias pelos 12 meses do ano.

Tabela 2 Produção por unidade de placa fotovoltaica

Cálculo de produção	Valores
Potência nominal por placa	440 Wp
Média de horas/dia de irradiação	5,25 h
Potência real (potência nominal - perda)	$1 - 0,2 = 0,8$
Total	1.848 Wp/dia
Total por Mês	56.210,62 Wph ou 56,21 kWh

Fonte: elaboração própria com base em dados coletados na pesquisa.

Dois cenários serão considerados para fins de cálculo, ambos de acordo com o ETPE e com o sistema *zero-grid*. O primeiro deles dirá respeito à instalação das placas já adquiridas, sem os custos de novas placas, apenas o orçamento da construção da usina, que engloba tanto a elaboração da documentação e os trâmites de acesso e homologação quanto à construção física da usina em si.

No segundo, será analisada a aquisição de mais 4.000 placas solares, acrescidas da construção da usina.

Tabela 3 Custos de implementação da usina

Descrição do processo	Cenário 1	Cenário 2
Documentação e trâmites	R\$120.000,00	R\$180.000,00
Construção da usina	R\$1.900.000,00	R\$11.900.000,00
Total	R\$2.020.000,00	R\$12.080.000,00

Fonte: elaboração própria com base em dados do ETPE.

Apesar da diferença de R\$10.000.000,00 ser bastante significativa, precisa-se, também, calcular a capacidade de geração de cada uma dessas usinas, a fim de mensurar as diferenças de produção de cada uma delas, utilizando como base o valor obtido pela Tabela 2.

Tabela 4 Capacidade de geração da usina

Quantidade de placas	Capacidade da usina (56,21 MW.placa/mês)
1080	60.706,8 kWh
5000	281.050 kWh

Fonte: elaboração própria.

Sabendo que a energia a ser produzida deve ser consumida simultaneamente à produção e que não há possibilidade de exceder esse limite, entende-se que a energia a ser abatida será do consumo fora de pico, visto que não há irradiação solar no horário de pico. Portanto, a energia produzida pelas usinas de ambos os cenários deve ser consumida dentro do horário fora de pico.

Tabela 5 Capacidade de geração da usina

	Cenário 1	Cenário 2
Média de consumo fora de pico	455.376 kWh	455.376 kWh
Capacidade da usina	60.706,8 kWh	281.050 kWh
Novo consumo de energia	394.669,2 kWh	174.326 kWh

Fonte: elaboração própria.

Com os dados analisados, é possível estabelecer uma média de economia mensal e anual e, enfim, obter dados relevantes para analisar os indicadores econômicos de viabilidade.

Tabela 6 Economia na conta de energia

	Cenário 1	Cenário 2
Capacidade da usina	60.706,8 kWh	281.050 kWh
Tarifa média fora de pico	R\$0,418950	R\$0,418950
Economia mensal	R\$25.433,11	R\$117.745,90
Economia anual	R\$305.197,32	R\$1.412.950,77

Fonte: elaboração própria.

Vê-se, que a economia anual do Cenário 1 é de R\$305.197,32 e o do Cenário 2 é de R\$1.412.950,77.

O primeiro indicador a ser utilizado será o *payback* efetivo, que será calculado baseado na subtração anual da economia de energia do total investido no início do projeto.

Tabela 7 *Payback*

Ano	Investimento Cenário 1 (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)	Payback (R\$)	Investimento Cenário 2 (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)	Payback (R\$)
0	-2.020.000,00			-12.080.000,00		
1		305.197,32	-1.714.802,68		1.412.950,77	-10.667.049,23
2		305.197,32	-1.409.605,36		1.412.950,77	-9.254.098,46
3		305.197,32	-1.104.408,04		1.412.950,77	-7.841.147,69
4		305.197,32	-799.210,72		1.412.950,77	-6.428.196,92
5		305.197,32	-494.013,40		1.412.950,77	-5.015.246,15
6		305.197,32	-188.816,08		1.412.950,77	-3.602.295,38
7		305.197,32	116.381,24		1.412.950,77	-2.189.344,61
8		305.197,32	421.578,56		1.412.950,77	-776.393,84
9		305.197,32	726.775,88		1.412.950,77	636.556,93

Fonte: elaboração própria.

Conforme os dados da Tabela 7, verifica-se que o investimento inicial no Cenário 1 se pagaria durante o sexto ano e renderia lucros a partir do mesmo ano. Para o Cenário 2, o investimento se pagaria no oitavo ano de operação da usina, gerando lucros no corrente ano.

Porém, o *payback*, segundo Gitman (2010, p. 366) é um método mais simples e intuitivo, sendo utilizado por muitas empresas apenas para suplementar outras técnicas decisórias, visto que quanto menor o período de *payback*, menor a exposição ao risco.

Para tanto, o cálculo do VPL e da TIR se tornam mais precisos e decisivos neste processo. A tabela abaixo traz o cálculo do VPL, baseado na fórmula já apresentada. O tempo escolhido de 20 anos diz respeito à garantia de funcionamento de 25 anos do fabricante dos módulos fotovoltaicos, subtraídos do tempo no qual o material está estocado.

Tabela 8 Valor Presente Líquido

Ano (t)	FC ₀ Cenário 1 (R\$)	FC _t / (1,0803) ^t (R\$)	Saldo a receber (R\$)	FC ₀ Cenário 2 (R\$)	FC _t / (1,0803) ^t (R\$)	Saldo a receber (R\$)
0	-2.020.000,00			-12.080.000,00		
1		282.511,64	-1.737.488,36		1.307.924,44	-10.772.075,56
2		261.512,21	-1.475.976,15		1.210.704,84	-9.561.370,72
3		242.073,69	-1.233.902,46		1.120.711,69	-8.440.659,03
4		224.080,06	-1.009.828,77		1.037.407,84	-7.403.251,19
5		207.423,92	-802.404,85		960.296,07	-6.442.955,12
6		192.005,85	-610.399,00		888.916,10	-5.554.039,02
7		177.733,82	-432.665,18		822.841,90	-4.731.197,12
8		164.522,65	-268.142,53		761.679,07	-3.969.518,05
9		152.293,49	-115.849,04		705.062,54	-3.264.455,51
10		140.973,33	25.124,29		652.654,40	-2.611.801,11
11		130.494,61	155.618,90		604.141,81	-2.007.659,30
12		120.794,79	276.413,69		559.235,22	-1.448.424,08
13		111.815,97	388.229,66		517.666,59	-930.757,49
14		103.504,55	491.734,21		479.187,81	-451.569,68
15		95.810,93	587.545,14		443.569,21	-8.000,47
16		88.689,19	676.234,33		410.598,17	402.597,70

17		82.096,82	758.331,15		380.077,92	782.675,62
18		75.994,46	834.325,61		351.826,27	1.134.501,89
19		70.345,70	904.671,31		325.674,60	1.460.176,49
20		65.116,82	969.788,13		301.466,12	1.761.642,61

Fonte: elaboração própria.

É importante salientar que a taxa de custo capital utilizada foi o rendimento da poupança no ano de 2023, estimada em 8,03% (Banco Central do Brasil, 2024) e que o fluxo de caixa inicial é negativo pois é um valor que a instituição despende em forma de investimento.

Vê-se, também, que o VPL do segundo cenário (R\$1.761.642,61) é mais interessante num cenário de 20 anos em comparação ao primeiro (R\$969.788,13), mostrando mais favorabilidade em relação a este indicativo.

Por fim, o indicativo da Taxa Interna de Retorno, como técnica mais sofisticada de orçamento, garante que a empresa receba, pelo menos, o retorno requerido, aumentando seu valor de mercado e a riqueza de seus proprietários (Gitman, 2010, p. 371).

Por tratar-se de um cálculo mais complexo, que envolve tentativa e erro, recomenda-se usar uma calculadora financeira para realizá-lo. Insere-se os dados do VPL, encontrados, neste trabalho, por meio da Tabela 8 e se pede, com os resultados, para que se calcule a TIR.

Tabela 9 Taxa Interna de Retorno

	Cenário 1	Cenário 2
TIR	14,01%	9,94%

Fonte: elaboração própria.

Pelas TIR calculadas, vê-se que ambos os projetos são viáveis financeiramente, sendo o primeiro (14,01%) mais atrativo que o segundo (9,94%) para a AFA, segundo este indicativo de análise.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo em questão buscou analisar o consumo de energia elétrica na AFA, a partir do qual foram levantadas opções baseadas neste consumo e em fatores externos com os quais a Academia precisa se ajustar.

Com o levantamento finalizado, foi possível aplicar os métodos de análise escolhidos, do mais simples ao mais complexo, a fim de se atingir o objetivo do trabalho, que é analisar a viabilidade econômica da instalação de uma usina fotovoltaica na Academia da Força Aérea.

Durante o estudo, foi possível verificar que é economicamente viável instalar um sistema fotovoltaico na Academia da Força Aérea. Todos os indicativos apresentados se mostraram favoráveis ao prosseguimento do projeto já analisado. No que diz respeito ao Cenário 1, o *payback* será realizado em menos de seis anos e meio, o VPL, baseado na taxa de poupança, seria de R\$969.788,13 ao final de 20 anos e a TIR seria de 14,01%. Por outro lado, o Cenário 2 terá o *payback* em pouco mais de oito anos e meio, VPL ao final de 20 anos de R\$1.761.642,61 e TIR de 9,94%.

O Cenário 1 se mostra economicamente mais viável ao final do processo, por ser, justamente, mais barato e ter seu custo de instalação baseado apenas na construção da usina, lembrando que os módulos utilizados não precisam ser comprados.

O Cenário 2, por ter um custo de instalação maior, apresenta indicadores aparentemente menos atrativos, por possuir *payback* dois anos e meio posteriores ao Cenário 1 e TIR de 9,94%, menor em 4% que o primeiro cenário. O VPL supera o do Cenário 1 em quase 800.000,00, demonstrando certa vantagem em relação aos outros indicadores e mostrando que, ao longo dos 20 anos, renderá mais lucros. Além de produzir quase cinco vezes mais energia, sendo uma opção mais custosa economicamente, mas, do ponto de vista da sustentabilidade, é a opção que mais se destaca.

Houve, durante o trabalho, o questionamento da viabilidade de se instalar um sistema *on-grid*, que produzisse energia e gerasse créditos para se abater totalmente a conta de energia da AFA, descartada para a atual conjuntura devido à necessidade de se aproveitar o material que corre o risco de se tornar obsoleto. Para fins de continuidade desta pesquisa, há a possibilidade de se investigar os meios para que se possa permitir que a Academia se conecte na rede elétrica pública de modo a não influenciar no funcionamento normal do abastecimento de energia da AFA e de Cachoeira de Emas, ampliando a capacidade de geração da usina e permitindo com que a conta de energia seja totalmente abatida.

Dessa forma, é possível concluir que esta pesquisa é de grande interesse da instituição, que tem, por meio desta, a possibilidade de investir num sistema mais autônomo, sustentável e que vai de acordo com as normas editadas da FAB, que objetiva o uso eficiente da energia elétrica, inclusive através de equipamentos e instalações, respeitando os critérios de viabilidade econômica, demonstrados ao longo do trabalho.

Por fim, a pesquisa conclui que é economicamente viável instalar um sistema fotovoltaico na Academia da Força Aérea, por meio de indicadores que vão de encontro a essa afirmativa. Os benefícios se estendem aos âmbitos social, ecológicos e sustentável, trazendo benefícios incalculáveis para a AFA.

REFERÊNCIAS

ACADEMIA DA FORÇA AÉREA - AFA. Seção de Elétrica. **Usina fotovoltaica - requisitos para elaboração do projeto básico**. Pirassununga, SP, 2023. (Documento interno).

AKIRA, Marcio Couceiro; CORDEIRO, Nicolas Duarte. Sistema fotovoltaico no Brasil e em Roraima e as diferenças entre os sistemas on grid e off grid. **Revista de Administração de Roraima**, 2024.

ARATU. **PCH Emas Nova**. Disponível em: <https://aratu.egocomunicacao.com.br/>. Acesso: 01 abr. 2024.

ASSAF NETO, Alexandre. **Curso de administração financeira**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2014.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Remuneração dos Depósitos de Poupança**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estatisticas/remuneradepositospoupanca>. Acesso em: 10 abr. 2024.

BARBOSA, Wilson Pereira Filho; AZEVEDO, Abílio César Soares de. Geração Distribuída: Vantagens e Desvantagens. **II Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia**, 2023.

BORGES, F. Q.. Crise de energia elétrica no Brasil: uma breve reflexão sobre a dinâmica de suas origens e resultados. **Revista Científica Multidisciplinar**, 2021. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/809/670>. Acesso em: 21 ago. 2023.

Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). **Alternativas Energéticas: uma visão Cemig**, Belo Horizonte: Cemig, 2012.

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL). **CRESESB - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em: 04 mar. 2024.

COMANDO DA AERONÁUTICA. **Implantação do Programa de Eficiência Energética (PEE) no Âmbito do COMAER. ICA 400-54**. Brasil, 2023

DESTACAMENTO DE INFRAESTRUTURA DA AERONÁUTICA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - DTINFRA-SJ. Seção de Elétrica. **Implantação de Usina Fotovoltaica**. São José dos Campos, SP, 2023. (Documento interno)

DIAMANDIS, P. **Solar energy revolution: a massive opportunity**. Nova Iorque: Forbes, 2014. Disponível em:

<https://www.forbes.com/sites/peterdiamandis/2014/09/02/solar-energy-revolution-a-massive-opportunity/#56994e866c90>. Acesso em: 18 jul. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: [MATRIZ ENERGÉTICA \(https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica\)](https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica). Acesso em: 27 jun. 2023.

GASPARIN, Fabiano. Sistemas off-grid garantem energia independente da rede elétrica. **Revista AEC Web**, 2018. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/sistemas-off-grid-garantem-energia-independente-da-rede-eletrica/17329>. Acesso em: 18 jun. 2024.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de administração financeira / Lawrence J. Gitman; tradução Allan Vidigal Hastings; revisão técnica Jean Jacques Salim**. - 12ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L. D.. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento**. Edusp. São Paulo, 2003

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O.. Energias renováveis: um futuro sustentável. **Revista USP**, São Paulo, n. 72, p. 6-15, 2007.

GUEDES, Diego Soares. **Implantação de Usina Fotovoltaica**. São José dos Campos: AFA, 2023

HINRICHS, Roger A.. **Energia e meio ambiente**. 5ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014, p. 422.

JÚNIOR, A. J. de S.; GHILARDI, W. J.; MADRUGA, S. R.; ALVARENGA, S. M.. Energia solar em organizações militares: uma análise da viabilidade econômico-financeira. **Revista de Gestão e Tecnologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 63-73, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22279/navus.2019.v9n1.p63-73.762>

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S.. Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão. **Revista Virtual de Química**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 126–143, 2015. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/664>. Acesso em: 21 ago. 2023.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). **ONS atualiza resultados da análise da ocorrência que afetou o Norte e o Nordeste**. Disponível em: <https://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20180506-analiseocorrencianorteenordeste.aspx>. Acesso em: 10 jun. 2024.

PORTAL SOLAR. **Simulador para projetos de energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/calculadora-solar>. Acesso em 21 ago. 2023.

RIGAMONTI, Rafael Eduardo. **Caderno de Necessidades**. 2ª revisão. Pirassununga: AFA, 2023

SANTOS, Fabrício Almeida; SOUZA, Carlos Alberto de; DALFIOR, Vanda Aparecida Oliveira. ENERGIA SOLAR: um estudo sobre a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico em uma residência em Ipatinga-MG. In: **XII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**,

2011. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos16/862456.pdf>. Acesso em 21 ago. 2023.

SOUZA, J. P. Grid-Zero - Como funciona - suas aplicações e homologação na distribuidora de energia elétrica. **Ecori Energia Solar**, Blog, Artigos, 13 ago. 2022. Disponível em: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/grid-zero---como-funciona---suas-aplicacoes-e-homologacao-na-distribuidora-de-energia-eletrica>. Acesso em: 29 abr. 2024.

TIBA, Chigueru, et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000.

UGLI, Tulakov Jakhongir Turakul. The Importance of Alternative Solar Energy Sources and the Advantages and Disadvantages of Using Solar Panels in this Process. **International Journal of Engineering and Information Systems**. V. 3, n. 4, p. 60-64, 2019.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 16ª ed. São Paulo: Atlas, 2016.

VIAN, Ângelo. **Energia Solar: fundamentos, tecnologia e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2021.