



ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO NO IFPE – CAMPUS RECIFE

Primeiro Autor - email

Segundo Autor - email

Terceiro Autor - email

Quarto Autor - email

Quinto Autor - email

Instituição

Endereço

CEP – Cidade - Estado

Resumo: O presente artigo traz uma análise da viabilidade técnica-econômica da implantação de um sistema solar fotovoltaico no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE – Campus Recife. O Brasil, por ser um país intertropical e possuir uma grande disponibilidade de recursos naturais e territoriais, tem condições favoráveis para o aproveitamento da energia solar fotovoltaica. No começo da tecnologia fotovoltaica, o investimento inicial era maior, devido ao preço da tecnologia, ocasionando um tempo de retorno do investimento (payback) mais elevado, superior a oito anos. A partir da Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que regulamentou a micro e minigeração distribuída, a disseminação dessa tecnologia começou de forma tímida e com alguns problemas, por se tratar de algo novo, mas hoje esse mercado está com um crescimento acelerado, gerando emprego e renda, aquecendo a economia. O estudo de caso levantou preços comerciais, comparou com estimativas nacionais, e comprovou que a instalação é viável, apresentando payback de cinco anos, gerando uma grande economia para a Instituição no longo prazo.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica. Viabilidade Econômica. Sistema Fotovoltaico Conectado à rede.

1 INTRODUÇÃO

Devido ao grande potencial hidrográfico do Brasil, durante muito tempo sua matriz elétrica foi composta basicamente por usinas hidrelétricas. De acordo com o Balanço Energético Nacional 2008 (BEM 2008), que toma como base o ano anterior, 2007, desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, a fonte hidráulica representava 81,7%. Contudo, a falta de investimento em novas hidrelétricas, os grandes períodos de estiagem e o aumento da demanda de energia levou o Brasil a investir em termelétricas movidas a combustíveis fósseis, a fim de evitar o racionamento e diminuir o risco de apagões.

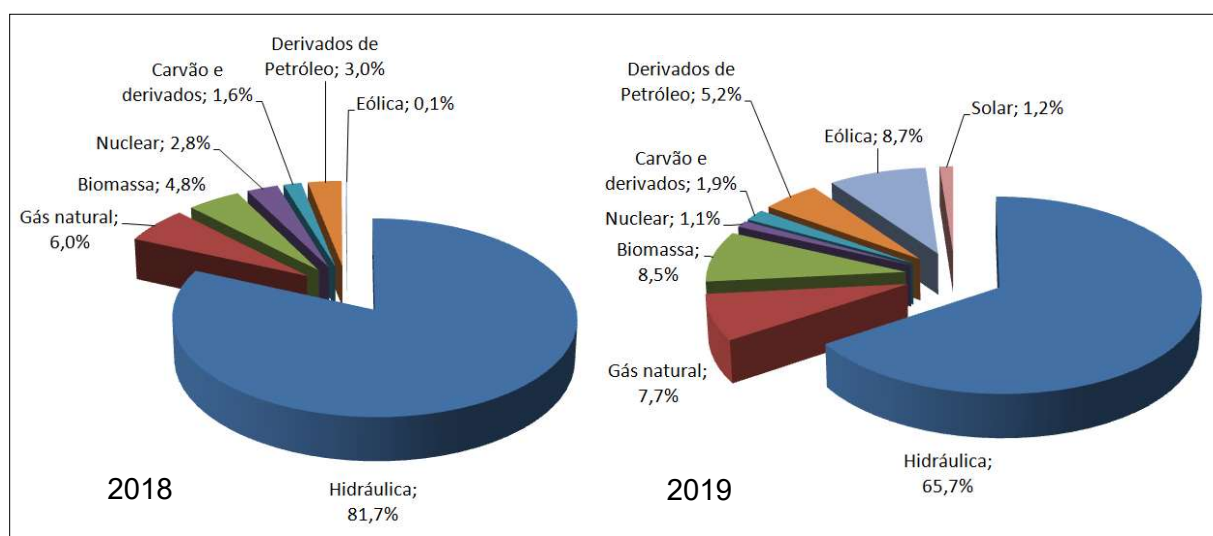
Com a acentuada estiagem de 2014, os reservatórios das grandes hidrelétricas atingiram níveis muito baixos, fazendo com que a produção de energia fosse suprida por termelétricas, ocasionando o um aumento do custo da produção. Esse déficit foi repassado aos consumidores no ano de 2015, quando também iniciou a cobrança das bandeiras tarifárias - representadas



pelas cores verde, amarelo e vermelho, que indicam se haverá, ou não, cobrança adicional no kWh em função das condições de geração da energia elétrica.

As usinas termoeletricas, movidas a combustíveis fósseis, além possuírem alto custo de funcionamento, agredem o meio ambiente, daí a busca por fontes renováveis e econômicas de energia. Nesse panorama, se faz necessário além do aumento da geração, uma diversificação da matriz energética brasileira com outras fontes renováveis, de forma que o Brasil aumente sua confiabilidade no fornecimento, e ao mesmo tempo mantenha uma matriz energética sustentável. Devido a sua localização intertropical, nosso país tem um grande potencial solar e eólico, que estão começando a ser explorados, como pode ser visto na Figura 1 (DANTAS, 2018).

Figura 1 – Evolução da matriz elétrica brasileira, comparação entre 2008 e 2019.



Fonte: EPE – Empresa de Pesquisa Energética

Segundo a Associação Brasileira de Geração Distribuída (ABGD), somando os potenciais hidrelétrico, eólico e fotovoltaico, ainda inexplorados do Brasil, pode-se calcular um potencial em torno de 600 GW de geração de energia elétrica limpa. Isso representa 3,5 vezes a capacidade de geração disponível atualmente. A exploração de todo esse potencial de energia renovável permitiria abandonar o uso de combustíveis fósseis e energia nuclear na matriz energética brasileira.

No Brasil, a energia solar fotovoltaica começou pela aplicação em pequenos sistemas isolados e autônomos, em locais inacessíveis ou de difícil acesso à rede elétrica, e até hoje ainda são utilizados na eletrificação de propriedades rurais, comunidades isoladas, bombeamento de água, centrais remotas de comunicação e sistemas de sinalização. O programa Luz para Todos, criado pelo Governo Federal em 2003, possibilitou que muitas residências fossem atendidas por sistemas autônomos (VILLALVA, 2015)

O grande inconveniente dos sistemas fotovoltaicos isolados é o uso de banco de baterias pois, a tecnologia de armazenamento de energia não conseguiu acompanhar os avanços tecnológicos das outras áreas. O melhor uso dessa fonte de energia ocorre em sistemas conectados à rede, que dispensam o uso de baterias, uma vez que o excesso de energia gerada é injetado na rede. O uso da energia solar vem crescendo em ritmo acelerado na aplicação em micro e minissistemas de geração distribuída, bem como nos parques de geração que funcionam como grandes usinas de eletricidade.

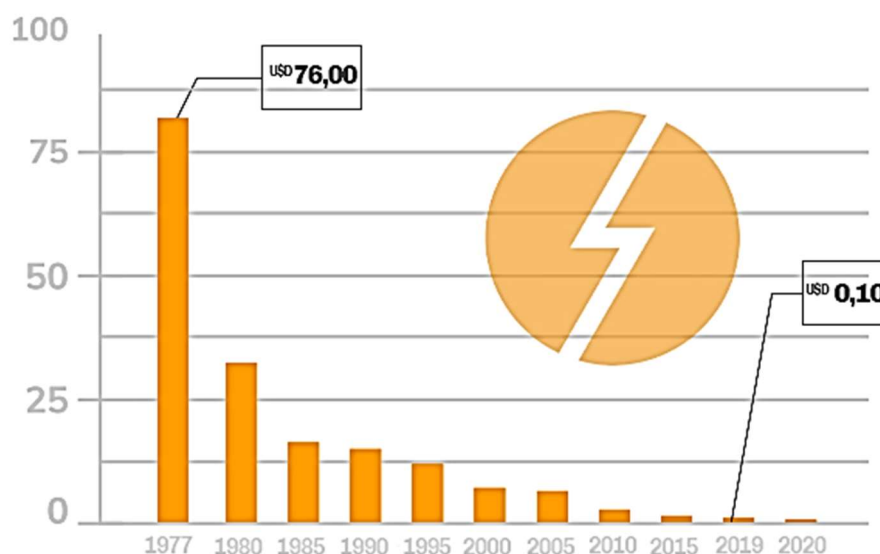
No Brasil, a geração distribuída teve início em 2012, com a Resolução Normativa (REN) nº 482/2012 publicada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), esse normativo



permitiu aos consumidores gerar sua própria energia e, por meio da injeção dessa energia na rede elétrica da distribuidora, compensar o excedente produzido. No início houveram algumas dificuldades de adaptação, tanto por parte das concessionárias, em fase de assimilação do processo, quanto das empresas que realizavam as primeiras instalações. A REN nº 687/2015, que alterou a REN nº 482/2012, definiu novas regras como a de geração compartilhada (consórcios ou cooperativas) e múltiplas unidades consumidoras (condomínios). Também foram alterados os limites da geração distribuída, dependendo da potência instalada, pode ser classificada como microgeração, com potência de geração limitada a 75kW, e minigeração, de 75kW a 5 MW (HAHN, 2018).

Os recentes avanços tecnológicos na área de semicondutores, o aumento constante da capacidade produtiva mundial de células fotovoltaicas, os incentivos governamentais e o aumento na demanda energética, foram fatores decisivos que ajudaram a diminuir o custo de sistemas fotovoltaicos. Como pode ser observado na Figura 2, valor por watt de energia produzido caiu de US\$ 76,00 para US\$ 0,36 em quase quarenta anos. No Brasil, a redução no custo dos sistemas, quando se compara os preços de 2012 com os praticados atualmente, reduziu o tempo de retorno médio dos investimentos em energia fotovoltaica de 8 (oito) anos para 4 (quatro) anos, tornando o investimento economicamente viável no longo prazo (DANTAS, 2018).

Figura 2 – Histórico dos preços de células de silício (em US\$/W)



Fonte: Portal Solar

Diante desse cenário, em que se busca aumentar o uso de energias renováveis e que está inserido em uma discussão mais ampla sobre preservação ambiental, houve o aumento e a disseminação da tecnologia fotovoltaica. O objetivo deste artigo é analisar a viabilidade técnico-econômica da implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE, *Campus* Recife.

O IFPE – *Campus* Recife é uma instituição centenária, que se consagrou nacionalmente por apresentar vocação no ensino profissional e tecnológico, realizando um trabalho de excelência, voltado à formação de cidadãos qualificados para ingresso no mercado de trabalho.

Para compor o estudo de viabilidade foram feitas análises da conta de energia elétrica, do dimensionamento de um sistema fotovoltaico e do cálculo de retorno do investimento.



2 DESENVOLVIMENTO

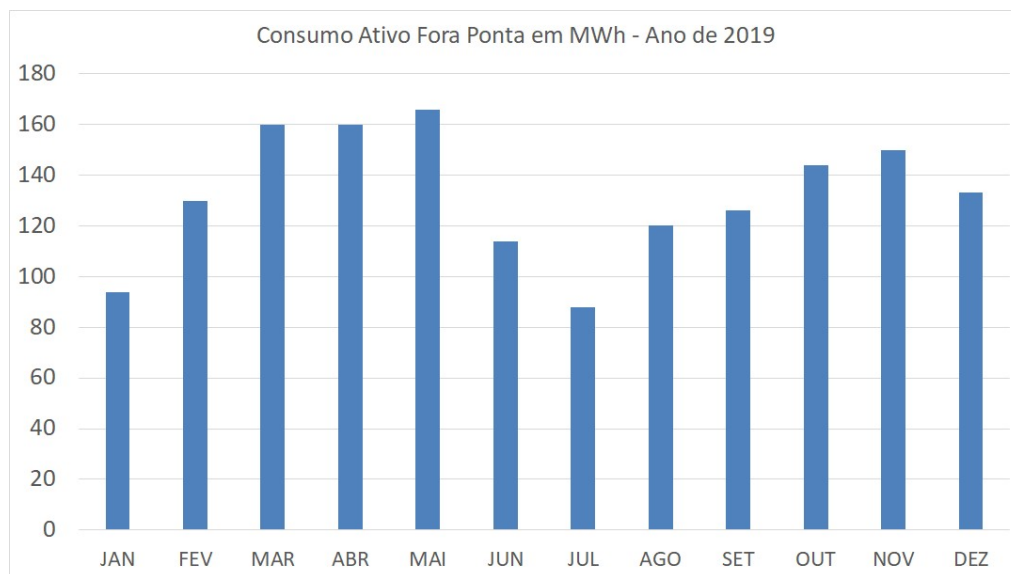
O Instituto está localizado no bairro do Curado, na cidade do Recife/PE, e é alimentado pela rede da Companhia Energética de Pernambuco – CELPE, empresa de distribuição de energia elétrica do estado de Pernambuco. Será analisado o histórico de consumo do ano de 2019, posteriormente será feito o dimensionamento de um sistema dentro das necessidades do Campus Recife, esse sistema será do tipo conectado à rede (on-grid), dispensando o uso de baterias.

2.1 Análise da conta de energia do IFPE – Campus Recife

O IFPE é um cliente do Grupo A-4, ou seja, é alimentado por uma rede trifásica, na tensão de 13,8 kV, e está enquadrado na tarifa horo-sazonal verde, classificado como cliente do poder público – federal. O valor médio da conta de energia é R\$ 100.000,00 (cem mil reais), desse valor, 15% é destinado à contratação da demanda, 55% é referente ao consumo no horário fora de ponta e 30% ao tocante do consumo no horário de ponta (17:30 às 20:30), tarifa 4,5 vezes maior que no horário fora de ponta.

Para efeito deste estudo, foi observado o consumo ativo no horário fora de ponta ao longo do ano de 2019, a instituição apresenta uma média de 132 MWh/mês e o valor do kWh é R\$ 0,42, já a demanda contratada é de 680 kW.

Figura 3 – Histórico de consumo fora de ponta IFPE



Fonte: Dados da conta de energia elétrica do IFPE

2.2 Projeto Fotovoltaico

De acordo a base de dados do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito – CRESESB, segue, na Tabela 1, os dados da irradiação solar diária média do ponto mais próximo às coordenadas geográficas do IFPE (-8,059578; -34,949894).

A partir dos dados da Tabela 1 e da Figura 4, pode-se perceber que dependendo do ângulo de instalação dos módulos fotovoltaicos, a irradiação recebida será diferente. Uma prática comumente feita nas instalações, de módulos fotovoltaicos, é a escolha da inclinação dos módulos num ângulo igual ao da latitude, pois, observa-se que a utilização do ângulo de 8° nesta localidade apresentaria um bom nível de irradiação.



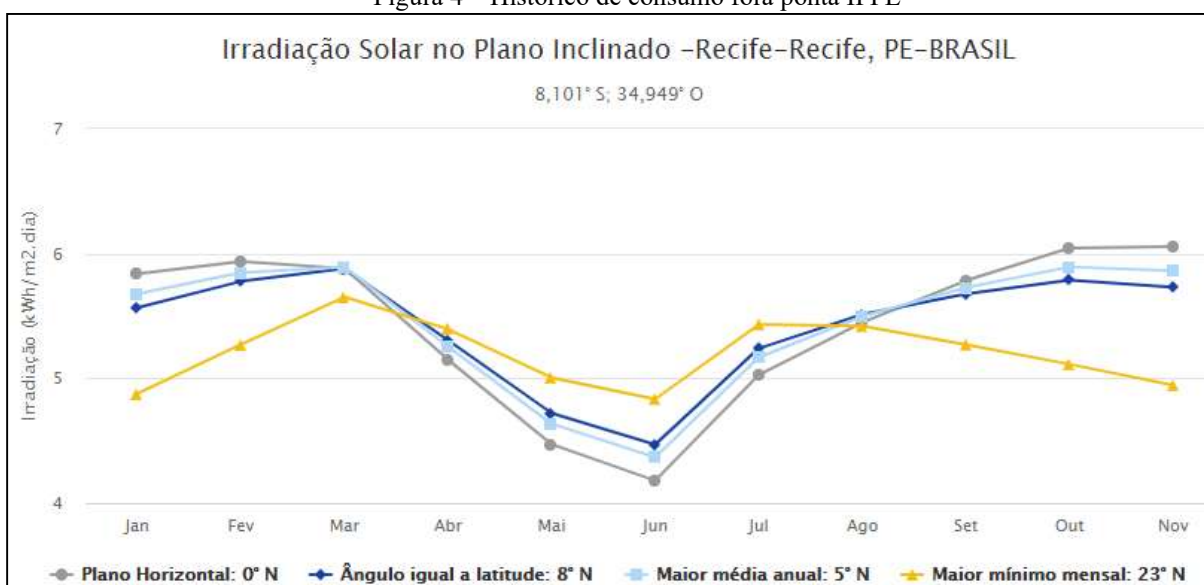
Apesar da maior irradiação ser para o ângulo ser 5°, não se deve instalar os módulos com uma inclinação tão baixa, pois, nos catálogos dos fabricantes é aconselhado a utilização de um ângulo mínimo de 10° para diminuir o acúmulo de sujeira e possibilitar que a própria chuva auxilie na limpeza da superfície dos módulos.

Tabela 1 – Irradiação solar – IFPE

Estação: Recife Município: Recife, PE - BRASIL Latitude: 8,101° S Longitude: 34,949° O																
Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]														
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta	
Plano Horizontal	0° N	5,84	5,94	5,88	5,15	4,47	4,18	4,30	5,03	5,45	5,78	6,05	6,06	5,34	1,87	
Ângulo igual a latitude	8° N	5,56	5,78	5,88	5,31	4,72	4,47	4,57	5,24	5,51	5,68	5,79	5,73	5,35	1,41	
Maior média anual	5° N	5,68	5,85	5,89	5,26	4,63	4,37	4,48	5,17	5,50	5,73	5,89	5,86	5,36	1,52	
Maior mínimo mensal	23° N	4,88	5,27	5,65	5,39	5,00	4,83	4,90	5,43	5,42	5,27	5,11	4,94	5,18	,82	

Fonte: CRESESB, 2020

Figura 4 – Histórico de consumo fora ponta IFPE



Fonte: CRESESB, 2020

De acordo com a REN nº 687/2015, a potência instalada da micro ou minigeração distribuída fica limitada a potência disponibilizada, para o caso do IFPE, que é um cliente do grupo A-4, fica limitado à demanda, caso se deseje instalar um sistema com potência maior que a demanda, um pedido de aumento da demanda deve ser formalizado junto a concessionária CELPE. Neste estudo, será considerado um sistema com a potência instalada limitado ao valor da demanda, 680 kW.

De acordo com a demanda, foi escolhido o seguinte sistema:

- 1680 módulos de 400W, Fabricante: CanadianSolar.
- 6 inversores de 110kW, Fabricante: Sungrow.

Esse sistema apresenta uma potência de 672 kWp, limitado a injeção de 660 kWp (potência dos inversores), valor inferior ao da demanda contratada, desta forma, não seria necessária alteração do valor já contratado.

Cada módulo fotovoltaico tem dois metros de altura por um metro de comprimento, totalizando uma área de 3.360 m² de área bruta (sem espaço para circulação entre os módulos),



"Os desafios para formar hoje o engenheiro do amanhã"

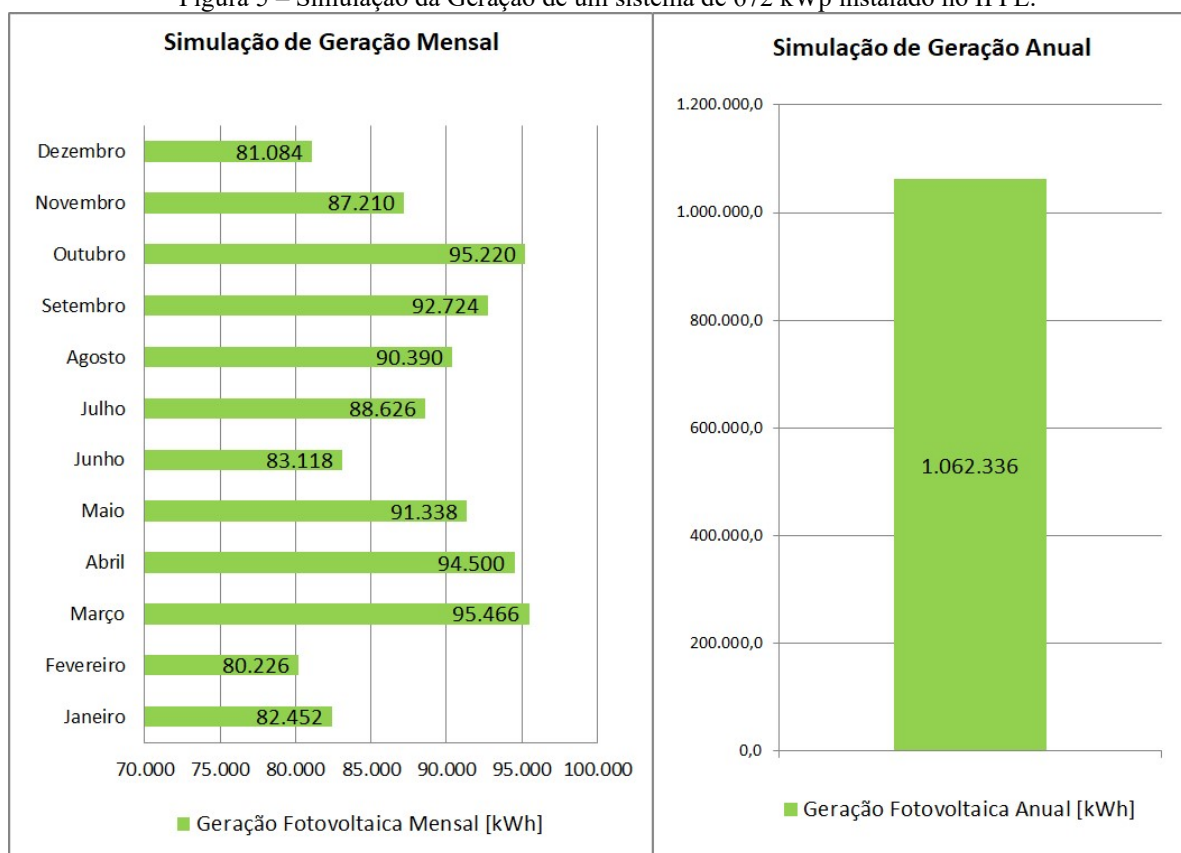
atribuindo um fator de 40%, tem-se que a área total necessária para instalação desse sistema deve ser de pelo menos 4.704 m².

Um software próprio de instalações fotovoltaicas, PVsyst, foi escolhido para simular a geração. Foram inseridas as coordenadas geográficas do Instituto, depois selecionada a orientação, voltado para o norte e com inclinação de 15°.

Os resultados da simulação podem ser vistos na Figura 5, onde mostra a geração estimada por meses do ano e a geração anual total. Pelos dados, pode-se perceber uma sazonalidade da geração, nos meses de chuva a geração é menor, nos meses mais quentes, a geração é maior, conforme o esperado.

Na Tabela 2, temos a comparação entre o consumo no horário fora ponta, no ano de 2019, e a estimativa de geração anual. Percebe-se que o sistema de 672 kWp é capaz de suprir 67% do consumo do IFPE no horário fora ponta.

Figura 5 – Simulação da Geração de um sistema de 672 kWp instalado no IFPE.



Fonte: PVsyst – Software de simulação de sistemas fotovoltaicos

Tabela 2 – Comparação entre o consumo no horário fora ponta e a simulação de geração fotovoltaica

	Consumo Fora Ponta [kWh]	Geração Fotovoltaica (AC Rede) [kWh]	Percentual do Consumo Suprido por FV [%]
Jan	94.000	82.452,0	87,71 %
Fev	130.000	80.226,0	61,71 %
Mar	160.000	95.466,0	59,67 %
Abr	160.000	94.500,0	59,06 %
Mai	166.000	91.338,0	55,02 %
Jun	114.000	83.118,0	72,91 %



Jul	88.000	88.626,0	100,71 %
Ago	120.000	90.390,0	75,33 %
Set	126.000	92.724,0	73,59 %
Out	144.000	95.220,0	66,13 %
Nov	150.000	87.210,0	58,14 %
Dez	133.000	81.084,0	60,97 %
ANO	1.585.000	1.062.336,0	67,02 %

Fonte: Próprio autor.

2.3 Análise de viabilidade técnico-econômica

Foram feitas três cotações com empresas do mercado de energia solar, o valor médio do investimento para implementação do sistema, de 672 kWp, seria de R\$ 2.345.970,00 (dois milhões, trezentos e quarenta e cinco mil, novecentos e setenta reais), equivalente a um preço normalizado de 3,49 R\$/Wp. Comparando com o valor obtido no estudo estratégico do mercado fotovoltaico de geração distribuída da empresa Grenner (3,28R\$/Wp), foi obtido um bom orçamento, dentro do que se cobra em um sistema desse porte.

De acordo com a geração simulada, a geração anual foi de 1,062 MWh/ano, o que equivale a 88.528 kWh/mês. Considerando uma tarifa de R\$ 0,42, a economia mensal será de aproximadamente 37 mil reais.

Na análise de viabilidade econômica, foi considerada uma depreciação de 1% ao ano – os fabricantes garantem uma geração de, pelo menos, 80% em 25 anos, ou seja, uma depreciação inferior a 1% a.a. – e uma inflação energética de 5% ao ano – nos últimos 5 anos os reajustes na conta de energia elétrica foram superiores a 6%. Numa análise de *payback* simples, conforme exposto na Tabela 3, o retorno no investimento ocorreria em cinco anos. Após 10 anos da instalação, próximo a metade da vida do sistema, todo o valor investido já teria sido recuperado e haveria uma receita de aproximadamente três milhões de reais, que poderia ser revertida para aquisição novos laboratórios e investimentos em outras áreas, por exemplo.

Tabela 3 – Análise da economia gerada, fluxo de caixa, e estimativa do tempo de *payback*

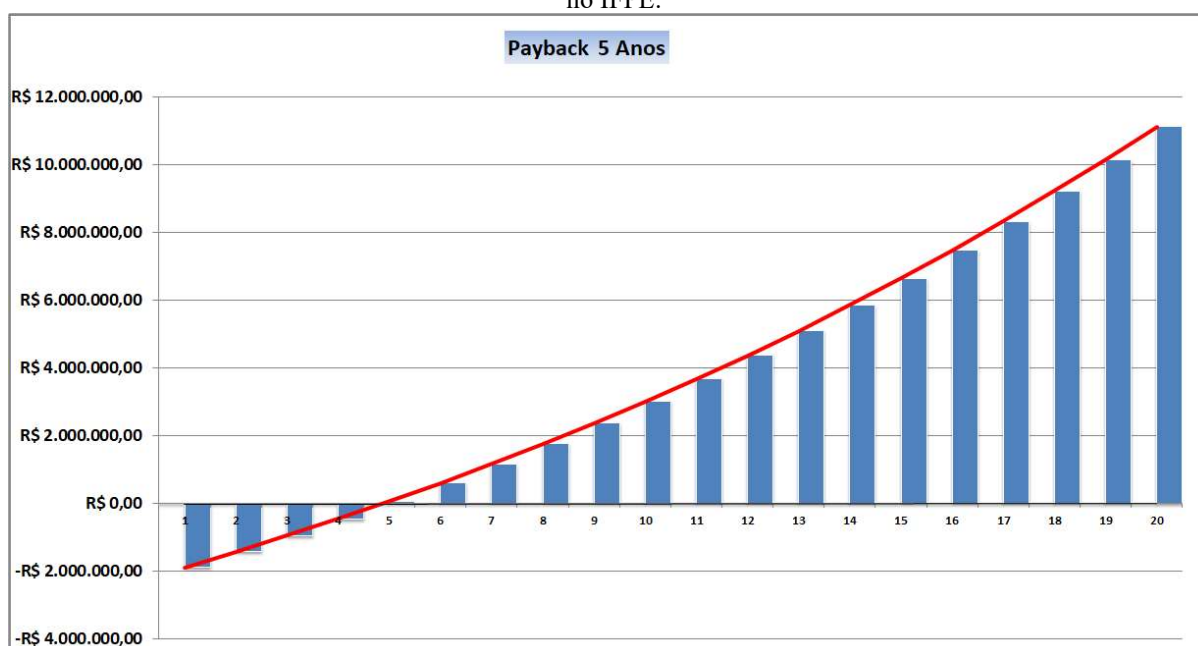
Anos	Economia Gerada	Fluxo de Caixa	Gasto com Sistema implantado	Gasto sem Sistema implantado
Investimento ⇒		-R\$ 2.345.970,26	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1	R\$ 447.663,17	-R\$ 1.898.307,09	R\$ 220.248,04	R\$ 667.911,22
2	R\$ 458.295,17	-R\$ 1.440.011,91	R\$ 243.011,60	R\$ 701.306,78
3	R\$ 477.841,46	-R\$ 962.170,45	R\$ 258.530,65	R\$ 736.372,12
4	R\$ 498.221,40	-R\$ 463.949,04	R\$ 274.969,32	R\$ 773.190,72
5	R\$ 519.470,55	R\$ 55.521,50	R\$ 292.379,71	R\$ 811.850,26
6	R\$ 541.625,96	R\$ 597.147,46	R\$ 310.816,81	R\$ 852.442,77
7	R\$ 564.726,31	R\$ 1.161.873,78	R\$ 330.338,60	R\$ 895.064,91
8	R\$ 588.811,89	R\$ 1.750.685,66	R\$ 351.006,27	R\$ 939.818,16
9	R\$ 613.924,72	R\$ 2.364.610,38	R\$ 372.884,35	R\$ 986.809,06
10	R\$ 640.108,60	R\$ 3.004.718,98	R\$ 396.040,91	R\$ 1.036.149,52
11	R\$ 667.409,24	R\$ 3.672.128,22	R\$ 420.547,76	R\$ 1.087.956,99
12	R\$ 695.874,24	R\$ 4.368.002,46	R\$ 446.480,60	R\$ 1.142.354,84
13	R\$ 725.553,28	R\$ 5.093.555,74	R\$ 473.919,31	R\$ 1.199.472,59



14	R\$ 756.498,12	R\$ 5.850.053,86	R\$ 502.948,09	R\$ 1.259.446,21
15	R\$ 788.762,77	R\$ 6.638.816,63	R\$ 533.655,76	R\$ 1.322.418,53
16	R\$ 822.403,50	R\$ 7.461.220,13	R\$ 566.135,95	R\$ 1.388.539,45
17	R\$ 857.479,01	R\$ 8.318.699,14	R\$ 600.487,41	R\$ 1.457.966,42
18	R\$ 894.050,49	R\$ 9.212.749,63	R\$ 636.814,26	R\$ 1.530.864,75
19	R\$ 932.181,74	R\$ 10.144.931,38	R\$ 675.226,24	R\$ 1.607.407,98
20	R\$ 971.939,30	R\$ 11.116.870,67	R\$ 715.839,09	R\$ 1.687.778,38

Fonte: Próprio autor.

Figura 6 – Fluxo de caixa considerando o investimento para instalação de um sistema fotovoltaico de 672 kWp no IFPE.



Fonte: Próprio autor.

Um investimento de, aproximadamente, 3 milhões de reais num sistema solar fotovoltaico significaria uma economia de 11 milhões de reais em 20 anos. O sistema possui vida útil estimada de 25 anos, mas não significa dizer que após esse período o sistema deixa de funcionar, se forem realizadas manutenções periódicas e um monitoramento para identificar e substituir componentes que apresentarem defeito, esse tempo passa a ser indeterminado.

Neste estudo não foram analisadas as condições do telhado, não sendo mensurado o custo de um possível do reforço estrutural e nesse ponto faz-se necessário uma vistoria minuciosa da atual situação. Também não foi levado em conta o valor da contratação de manutenção do sistema. Uma instalação fotovoltaica necessita de pouca manutenção, como o Campus possui cursos técnicos de eletrotécnica e eletrônica dotados de laboratórios e equipamentos especializados, o próprio Instituto, poderia se encarregar das manutenções preventivas e corretivas, através de seus técnicos e docentes. Vale ressaltar que os módulos fotovoltaicos e inversores, presentes nessa proposta, tem garantia de dez e seis anos, respectivamente.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção em escala dos componentes fotovoltaicos, que causou uma diminuição dos preços, traz um cenário favorável para a implantação de sistemas fotovoltaicos, acarretando num grande crescimento da energia solar na geração distribuída no Brasil, atrelado a.



O Brasil apresenta bons indicativos para o aproveitamento desse tipo de geração de energia, não somente devido a sua localização intertropical, mas pela grande disponibilidade de recursos naturais e territoriais, e pelas características do seu sistema elétrico. Aspecto esse, que ajudaria na redução dos elevados custos de transmissão e distribuição por trazer a geração para perto do consumidor final, aumentando assim a confiabilidade, e provocando possíveis reduções nas tarifas de energia elétrica.

Numa instalação do porte do IFPE – *Campus* Recife (investimento em torno de três milhões de reais para aquisição de um sistema de 672 kWp, que não supre 100% do consumo), inicialmente pode parecer que o investimento é bastante elevado contudo, o investimento é totalmente justificado a longo prazo, e representaria uma grande economia para os cofres públicos. Neste estudo, foi possível verificar que existe viabilidade econômica na instalação de uma minigeração fotovoltaica para um cliente do grupo A e que o *payback* foi de cinco anos.

Dessa forma, por se tratar de uma tecnologia que se mostra acessível, é esperado grande expansão da energia fotovoltaica na matriz brasileira. Progresso que trará benefícios ao consumidor final e ao sistema elétrico nacional, além de impulsionar o setor produtivo, que consequentemente, gera empregos, renda e desenvolvimento econômico.

REFERÊNCIAS

BALFOUR, John; SHAW, Michael; NASH, Nicole Bremer. **Introdução ao projeto de sistemas fotovoltaicos**. São Paulo: LTC, 2016.

CABELLO, A. F.; POMPERMAYER, F. M. **Energia fotovoltaica ligada à rede elétrica: atratividade para o consumidor final e possíveis impactos no sistema elétrico**. Brasília: Ipea, 2013.

DANTAS, Stefano Giacomazzi; POMPERMAYER, Fabiano Mezadre. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Brasília: Ipea, 2018.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira**. Rio de Janeiro: EPE, 2012.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2008**. Rio de Janeiro: EPE, 2008.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2019**. Rio de Janeiro: EPE, 2019.

GREENER. **Estudo Estratégico: Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída**. São Paulo: Greener, 2020.

HAHN, Philipp; MIGHELÃO, Taynara Reisner. **O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica**. Rio de Janeiro: Instituto IDEAL, 2018.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: Inpe, 2006.

SOUZA, Ronilson di. **Sistemas de energia solar fotovoltaica**. Ribeirão Preto: BlueSol Educacional, 2016.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações**. São Paulo: Érica, 2015.



TECHNICAL-ECONOMIC FEASIBILITY STUDY OF THE IMPLEMENTATION OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN IFPE - CAMPUS RECIFE

Abstract: *This article presents an analysis of the technical-economic feasibility of implementing a photovoltaic solar system at Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE – Campus Recife. Brazil with an intertropical climate, has large availability of natural and territorial resources, and presents favorable conditions for the use of photovoltaic solar energy. When the photovoltaic technology started to be used, the initial investment to implement such systems was very high, due to this technology price, resulting in a great payback time, superior to eight years. After ANEEL REN nº 482/2012 was implemented, which regulated the use of micro and mini-generation, the dissemination of this technology, which had started slow and with some problems for being something new became very promissory and today this market is growing quickly, generating jobs and income as well as heating the economy. This case study raised commercial prices and compared with national estimates, showing that its installation is viable, with a five-year payback and generating great savings for the Institution in a long period.*

Keywords: *Photovoltaic Solar Energy. Economic viability. Grid-Connected Photovoltaic System.*