

IMPACTOS NO SETOR PÚBLICO, SOCIOECONÔMICO E AMBIENTAL DE SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDOS

Ana Siqueira Lisboa Ribeiro¹ (IC), Giancarlo Aquila¹ (PQ), Benedito Donizeti Bonatto¹ (PQ)

¹ Universidade Federal de Itajubá

Palavras-chave: Energias renováveis. Sistemas fotovoltaicos. Viabilidade econômica. Impactos ambientais.

Introdução

Desde o início da utilização em larga escala da energia elétrica, a dependência desse recurso tem aumentado constantemente. No Brasil, o potencial hidráulico levou à construção de usinas hidrelétricas, como a usina de Marmelos, no rio Paraíba, em 1889 e a de Itaipu, em 1984, o que resultou em uma grande dependência da energia hidrelétrica. No entanto, essa dependência representa um risco de desabastecimento em caso de falhas na produção. Isso reforça a importância de diversificar as fontes de energia para atender à demanda nacional, levando em consideração preocupações ambientais e a redução da disponibilidade desses grandes projetos hidrelétricos. Assim, surge a motivação para estudar diferentes formas de geração de energia e sua viabilidade no país.

O objetivo final deste projeto é analisar a demanda energética das instituições públicas em Itajubá, com foco em escolas, creches e unidades básicas de saúde. Essa pesquisa permitirá uma análise das implicações técnicas, econômicas e ambientais da geração fotovoltaica, contribuindo para o desenvolvimento dessas redes elétricas sustentáveis.

Metodologia

Foram utilizadas informações dos locais públicos de interesse, obtidas no site da prefeitura de Itajubá, juntamente com coordenadas geográficas do *Google Earth*, além da irradiação solar média, pelo site da NASA. Fez-se uma planilha, que além dessas informações, incluem *links* para visualizar estes locais no mapa. Com a planilha pronta, adquiriu-se o consumo médio de energia elétrica desses locais e dimensionou-se a instalação de painéis fotovoltaicos, visando o aprendizado técnico, além de análises econômicas e ambientais. O dimensionamento foi realizado de duas formas e, para as duas, utilizou-se o modelo de um sistema fotovoltaico que possuísse a melhor relação de custo x benefício. A primeira forma de dimensionar foi através de uma planilha Excel, disponibilizada pelo professor Giancarlo Aquila e aperfeiçoada durante o projeto de iniciação científica. No presente artigo, foi

utilizada a Creche Gasparina Maia como estudo de caso, mas os mesmos procedimentos foram adotados para todos os locais públicos de interesse. Com dados iniciais já preenchidos na planilha, foi necessário utilizar relações para calcular o Valor Presente do Consumo Anual, a Demanda, a Produção Esperada para uma placa fotovoltaica, o Valor Presente de Produção Anual e, finalmente, a Quantidade de placas fotovoltaicas do sistema. Tais passos são exemplificados através das Figuras 1 e 2.

Figura 1 - Dimensionamento Excel - Parte 1

1	Dados	
2		
3	Nome da Unidade:	CHECRE Gasparina Maia
4		
5	Consumo anual (Ca)	7901 kWh
6	G (crescimento esperado)	0,03% ao ano
7	n	25 anos
8	i	11,23% ao ano
9	$(1+G)^n$	1,0075271
10	$(1+i)^{-n}$	0,0698524
11	G - i	-11,20%
12	VP consumo anual	65563,642 kWh
13	PGTO consumo anual	7917,68 kWh
14		
15		
16	Área de uma placa (A)	2,186 m ²
17	Rendimento (η)	21,30%
18	Radiação solar local (média)	5,00 kWh/m ² https://power.larc.r
19	Perdas estimadas	10% sombreamento, poeira, etc.
20	Fator de segurança	10%
21	Temp amb	35
22	Temp ref	18
23	Temp inst	31
24	Coef temp	0,35% W/°C
25	Dias em um ano	365

Fonte: Autoria Própria

Figura 2 - Dimensionamento Excel - Parte 2

26		
27	Demanda	8709,45 kWh ao ano
28	Produção de uma placa esperada	681,80 kWh ao ano
29	nº de placas	13
30	Fator de degradação do sistema	0,25% ao ano
31	Potência de uma placa	465 Wp
32	Potência do sistema	6,0 kWp
33	n	25 anos
34	i	11,23% ao ano
35	$[1-(1+G)^n(1+i)^{-n}]$	0,9343848
36	G + i	11,48%
37	VP produção anual	5547,9909 kWh ao ano
38	PGTO produção anual	669,99354 kWh ao ano
39	kWh/kWp ao dia	3,95

Fonte: Autoria Própria

A segunda forma de dimensionamento foi através do software *PVSyst*, permitindo análises e comparações. Para isso, os passos foram os seguintes: inserir latitude e

longitude no PVSyst para obter dados anuais de irradiação, temperatura, vento e umidade. A partir daí, uma curva da linha horizonte é gerada para o local, podendo ser melhorada com a inserção de detalhes da área. A seguir, o sistema é especificado com base no consumo anual do lugar, orientações quanto aos módulos e a inclinação a um valor próximo ao da latitude do local, atendendo a especificação de perdas em relação ao ótimo igual a zero e do fator de transposição ser maior ou igual a 1, para que a irradiação incidente esteja sob o módulo fotovoltaico. Além disso, o Azimute deve ser zero e os módulos fotovoltaicos devem ser voltados para o Norte. Também é necessário detalhar que a instalação deve ser feita em telhados, por se tratarem de locais públicos e com grande circulação de pessoas, além de se escolher ventilação adequada. Após seguir esses passos, o software é capaz de dimensionar o sistema de geração fotovoltaica, de acordo com as características do local desejado. Dado o sistema dimensionado, é possível fazer uma análise econômica quanto a essa instalação, também via Excel (Figuras 3 e 4).

Figura 3 - Análise Econômico Financeira - Parte 1

1	Dados		
2			
3	CAPEX unitário do sistema FV	R\$ 4,39	por Wp
4	CAPEX total	R\$ 26.537,55	
5	OPEX	0,50%	do CAPEX
6	OPEX (anuidades)	R\$ 132,69	
7			
8	Distribuidora local	CEMIG	
9	Valor Fio A na tarifa	R\$ 0,054	kWh
10	Valor Fio B na tarifa	R\$ 0,232	kWh
11	Valor TFSEE	R\$ 0,001	kWh
12	Valor P&D	R\$ 0,003	kWh
13			
14	Alíquota ICMS	18%	
15	Tarifa local	R\$ 0,545	
16	G (crescimento esperado)	2,3%	Holderm
17			

Fonte: Autoria Própria

Figura 4 - Análise Econômico Financeira - Parte 2

3	Ano	0	1	2
4	Isenção de ICMS ?		sim	sim
5	Tarifa local		0,557535	0,570358305
6	Alíquota de ICMS		18%	18%
7	(+) Economia anual + isenção ICMS		R\$ 6.026,40	R\$ 6.149,60
8	Escadinha		15%	30%
9	(-) Encargos (Sistemas < 500 kWp)		R\$ 308,45	R\$ 629,50
10	(-) Encargos (Sistemas > 500 kWp)		R\$ -	R\$ -
11	(-) OPEX		R\$ 132,69	R\$ 132,69
12	(-) CAPEX	R\$ 26.537,55		
13	(=) Saldo Líquido	-R\$ 26.537,55	R\$ 5.585,27	R\$ 5.387,41
14	Saldo Acumulado	-R\$ 26.537,55	-R\$ 20.952,28	-R\$ 15.564,87
15	Saldo Líquido Descontado	-R\$ 26.537,55	R\$ 5.021,24	R\$ 4.354,26
16	Saldo Acumulado Descontado	-R\$ 26.537,55	-R\$ 21.516,31	-R\$ 17.162,05
17				
18	Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	11,23%		ao ano

Fonte: Autoria Própria

Para isso, é necessário calcular parâmetros como: o Capex Unitário, determinando a despesa para a implementação do sistema; O Opex, para os gastos das atividades rotineiras gerados pelo sistema; o Saldo Líquido, o Saldo Acumulado, o Saldo Líquido Descontado e, por fim, o Saldo Acumulado Descontado, que será útil para as próximas análises.

É importante mencionar que a Figura 4 demonstra apenas os dados obtidos até o ano 2, para fins de exemplificação, mas que tais análises foram realizadas até o ano 25, pois foi considerado um horizonte de planejamento de 25 anos, correspondendo à vida útil do sistema fotovoltaico (PV).

Outro parâmetro analisado foi quanto aos impactos ambientais gerados pelo uso de sistemas PV, que além de serem uma fonte de energia sustentável e renovável, resultam em uma redução significativa de CO₂. Vale ressaltar que a geração de energia elétrica a partir da energia solar é fonte da matriz energética com menor emissão equivalente desse gás durante seu processo de produção. Para calcular essa redução, a relação entre o fator de emissão (0,3406 tCO₂/kWh) e o valor presente da produção de energia foi estimado com funções do Excel e o resultado pode ser visualizado na Figura 5.

Figura 5 - Redução Emissão de Carbono - Excel

32			
33	Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	11,23%	ao ano
34			
35	Valor do Negócio	R\$ 38.228,63	
36	Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 11.691,08	
37	Valor Anual Uniforme (VAUE)	R\$ 1.490,52	
38	TIR modificada	12,87%	
39	LCOE	R\$ 0,59	por kWh
40	Payback Simples		anos
41	Payback Descontado		anos
42			
43	VP CAPEX	R\$ 26.537,55	
44	VP OPEX	R\$ 1.098,74	
45	VP Encargos	R\$ 15.043,64	
46	VP Produção Energia	R\$ 72.123,88	kWh
47			
48	Fator de emissão (SIN)	0,3406	tCO ₂ /kWh
49	Emissão reduzida de CO ₂	24565,39	tCO ₂
50			

Fonte: Autoria Própria

Resultados e discussão

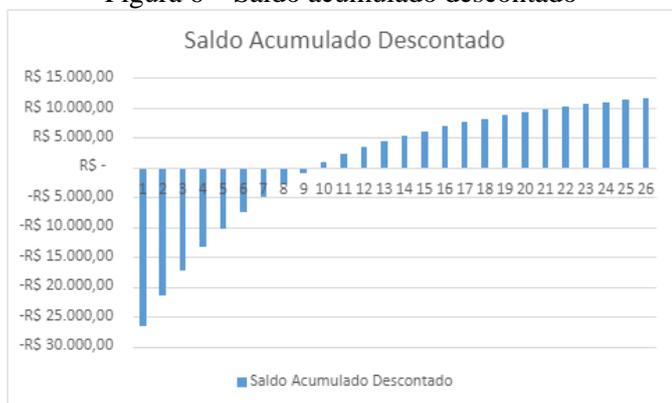
Os métodos explicitados, possibilitaram uma série de resultados e discussões que serão apresentadas a seguir. Através das Figuras 3 e 4, nota-se que, para suprir o consumo anual de 7.901 kWh demandado (Figura 1), o investimento necessário é de R\$26.537,55 (Figura 4). No entanto, o que se investe pode ser recuperado ao longo dos anos, por meio da economia com as contas de energia da CEMIG, reduzidas significativamente.

O gráfico da Figura 6 demonstra como o investimento

pode ser gradualmente recuperado. Além disso, o gráfico da Figura 7 mostra como, nos anos iniciais, a energia produzida é maior que a consumida, o que resulta em um saldo de energia injetada na rede.

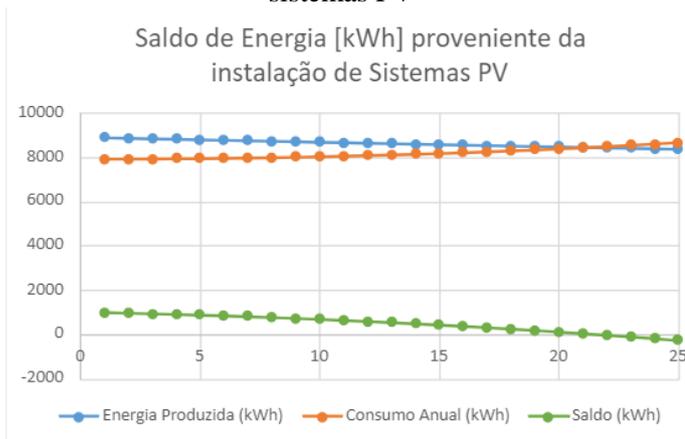
Ademais, outra análise que pode ser feita é que, com a instalação de painéis fotovoltaicos suficientes para suprir um consumo anual de aproximadamente 7901 kWh, a redução na emissão de carbono calculada é de 24565,39 toneladas de CO₂ equivalentes. Tal resultado mostra que, com ações como estas, em maiores proporções, é possível contribuir para a redução de gases que provocam o efeito estufa, ajudando a combater o aquecimento global.

Figura 6 – Saldo acumulado descontado



Fonte: Autoria Própria

Figura 7 – Saldo de energia proveniente da instalação de sistemas PV



Fonte: Autoria Própria

Conclusões

Da realização deste projeto de iniciação científica é válido ressaltar que foi possível obter conclusões principalmente acerca dos benefícios advindos da instalação de sistemas PV em locais públicos de Itajubá,

propiciando análises críticas em relação ao assunto. Primeiramente, o estudo proporcionou um aprendizado teórico e prático significativo sobre energias renováveis, principalmente energia solar fotovoltaica, contribuindo para o desenvolvimento técnico e profissional da aluna.

Em segundo lugar, pela análise econômica, foi possível perceber que a economia a longo prazo na conta de energia é garantida com a instalação de sistemas fotovoltaicos. Essa observação evidencia que a Prefeitura Municipal de Itajubá, além de outros setores públicos estaduais ou federais, poderiam redirecionar os recursos economizados para áreas de extrema importância, como a da educação, saúde pública ou ações sociais de combate à fome, às desigualdades, etc..

Ademais, considerando o cenário de aquecimento global e a preocupação que isso tem gerado em todo o mundo, é notável que sistemas fotovoltaicos demonstram ser benéficos ao reduzirem as emissões equivalentes de CO₂, proporcionando um impacto ambiental positivo.

Visto isso, percebe-se que o conhecimento por decisores políticos da cidade de Itajubá quanto a análises técnicas abrangentes e multidisciplinares, ressaltando os benefícios das energias renováveis, torna-se crucial. Por fim, é válido citar a definição de Piran e Painz (2020), que dizem que em nenhum momento da história, a sociedade dependeu tanto da energia elétrica quanto atualmente. A partir daí, conclui-se que estudos como este, conjuntamente com iniciativas práticas e reais, podem ser uma forma valiosa de retribuir à sociedade parte do investimento realizado na educação de estudantes de universidades públicas, como a UNIFEI.

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador e professor Benedito Donizeti Bonatto pelos diversos ensinamentos ao longo desses meses, além da oportunidade de aprendizado através dessa pesquisa. Gratidão também aos meus colegas Ana Clara, Conrado, Evandro e Lívia que me ajudaram e compartilharam experiências de grande valia. Aos colegas do *Advanced Power Technologies and Innovations in Systems and Smart Grids Group* (aPTIs-SG²) pelo apoio nas aulas, discussões e indicações, com destaque ao professor Giancarlo Aquila.

Agradeço, também, o apoio financeiro proporcionado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em

Energia Elétrica (INERGE), e à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), que contribuíram, de forma relevante, com o desenvolvimento da pesquisa.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Informações Técnicas - Geração Distribuída**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2VmMmUwN2QtYWFiOS00ZDE3LWI3NDMtZDk0NGI4MGU2NTkxIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 31 mai. 2023.

LIBERTY ENERGIA. **Entenda a importância da diversificação da matriz energética**. Disponível em: <https://www.libertyenergia.eco.br/entenda-a-importancia-da-diversificacao-da-matriz-energetica/#:~:text=de%20um%20pa%C3%ADs,-,Como%20ocorre%20a%20diversifica%C3%A7%C3%A3o%20da%20matriz%20energ%C3%A9tica%3F,de%20impacto%20e%20de%20viabilidade>. Acesso em: 31 mai. 2023

MARQUES, F. A. S. ; MORÁN, J. A. ; ABREU, L. ; SILVA, L. C. P. DA; FREITAS, W. **Impactos da Expansão da Geração Distribuída nos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, UNICAMP, [s.d.]

MERCADO LIVRE DE ENERGIA. **Energia elétrica no Brasil: história e as principais instituições criadas**. Disponível em: <https://livremercadodeenergia.com.br/energia-eletrica-no-brasil-historia-e-as-principais-instituicoes-criadas/>. Acesso em: 31 mai. 2023

NUNES ARAGÃO; GRANDE. **Estudo de Perdas no Sistema Elétrico de Potência com Presença de Geração Distribuída Usando o ATPDRAW**. Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Federal de Campina Grande, 2016.

PIRAN, F. A. S.; PANIZ, A. M. F. **Análise dos efeitos proporcionados pela transformação de uma rede convencional em smart grid: estudo de caso em uma concessionária de energia do rio grande do sul**. Latin American Journal Of Business Management, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 83-94, jul. 2020

QUANTUM. **História da Energia Solar Fotovoltaica: Como a evolução tecnológica vem ampliando o acesso à essa fonte sustentável de energia**. Disponível em: <https://www.quantumengenharia.net.br/historia-da-energia-solar-fotovoltaica/>. Acesso em: 31 mai. 2023.

SANTOS, L. P. D; JÚNIOR, R. H. P; SANTOS, V. C. L. **Geração Distribuída: Sistema de cogeração fotovoltaica**

conectada à rede elétrica de baixa tensão. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_9.pdf. Acesso em: 31 mai. 2023.

SILVA, P. F. **Análise de Modelos e Viabilidades para Inserção de Sistemas de Geração Fotovoltaica em Universidades Públicas Brasileiras Visando a Sustentabilidade Energética**. 2021. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2021b.

SISTEMA FIEP. **O que é Geração Distribuída**. Disponível em: <https://www.fiepr.org.br/observatorios/energia/o-que-e-geracao-distribuida-1-21893-327075.shtml>. Acesso em: 31 mai. 2023

SOLLED ENERGIA. **Por que falamos que a energia solar reduz CO₂? Disponível em: https://www.solledenergia.com.br/por-que-falamos-que-a-energia-solar-reduz-co2/**. Acesso em: 7 set. 2023

ZILLES, R. et al. **Sistema Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.