

Estudo Econômico Comparativo entre Sistemas Fotovoltaicos com Estrutura Fixa e com Seguidores Solares

Karen Barbosa de Melo (UNICAMP) - karen.bmelo@gmail.com

Rubem Cesar Rodrigues Souza (UFAM) - rubem@ufam.edu.br

Marcelo Gradella Villalva (UNICAMP) - villalva@unicamp.br

Resumo:

Sistemas de geração fotovoltaica têm sido explorados como uma solução para atender à crescente demanda por eletricidade de uma fonte limpa e renovável. No entanto, a baixa eficiência de conversão de energia dos painéis fotovoltaicos é um dos fatores que dificultam a competitividade dessa fonte de energia em relação às demais. Seguidores solares são usados para melhorar o desempenho de sistemas fotovoltaicos, entretanto, eles têm custo de instalação e manutenção mais altos. Portanto, este trabalho apresenta uma análise econômica comparativa entre sistemas fotovoltaicos fixos e sistemas com seguidores solares, com o intuito de determinar o valor máximo do custo com o sistema com seguidores solares de forma que o investimento seja mais rentável que o sistema com painéis fixos. Considerando uma inflação de tarifa de energia elétrica de 8% ao ano e uma taxa de desconto de 15% ao ano, na localidade de Montes Claros - MG, o sistema com seguidor solar pode ser até 43% mais caro que o sistema com painéis fixos, e ele ainda será mais rentável. Já em Franca - SP, esta diferença pode ser de no máximo 22%.

Palavras-chave: *Energia Solar, Seguidor Solar, Análise Econômica*

Área temática: *Mercado, economia, política e aspectos sociais*

Subárea temática: *Impactos sociais, econômicos e ambientais de energias renováveis*

ESTUDO ECONÔMICO COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS FOTOVOLTAICAS COM ESTRUTURA FIXA E SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COM SEGUIDORES SOLARES

Karen Barbosa de Melo – karen.bmelo@gmail.com

Marcelo Gradella Villalva – villalva@unicamp.br

Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Sistemas e Energia

Rubem César Rodrigues Souza – rubem_souza@yahoo.com.br

Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Eletricidade

Resumo. *Sistemas de geração fotovoltaica têm sido explorados como uma solução para atender à crescente demanda por eletricidade de uma fonte limpa e renovável. No entanto, a baixa eficiência de conversão de energia dos painéis fotovoltaicos é um dos fatores que dificultam a competitividade dessa fonte de energia em relação às demais. Seguidores solares são usados para melhorar o desempenho de sistemas fotovoltaicos, entretanto, eles têm custo de instalação e manutenção mais altos. Portanto, este trabalho apresenta uma análise econômica comparativa entre sistemas fotovoltaicos fixos e sistemas com seguidores solares, com o intuito de determinar o valor máximo do custo com o sistema com seguidores solares de forma que o investimento seja mais rentável que o sistema com painéis fixos. Considerando uma inflação de tarifa de energia elétrica de 8% ao ano e uma taxa de desconto de 15% ao ano, na localidade de Montes Claros - MG, o sistema com seguidor solar pode ser até 43% mais caro que o sistema com painéis fixos, e ele ainda será mais rentável. Já em Franca - SP, esta diferença pode ser de no máximo 22%.*

Palavras-chave: *Energia Solar, Seguidor Solar, Análise Econômica*

1. INTRODUÇÃO

Produzir energia elétrica por meio de fontes renováveis é importante para o meio ambiente, pois diminui a emissão de gases de efeito estufa e reduz a dependência de combustíveis fósseis. Além disso, permitem a implementação de um sistema de produção local, o que traz benefícios em nível econômico e de eficiência, uma vez que as perdas de energia em transporte são minimizadas (Nascimento, 2015).

Dentre os vários tipos de fontes renováveis de energia, a energia solar é uma das mais promissoras. No Brasil, em 2013, a potência instalada de sistemas fotovoltaicos era igual a 5 MW, e em 2018, 2296 MW (IRENA, 2019).

Atualmente os sistemas fotovoltaicos estão sendo utilizados como geradores distribuídos, tanto para o atendimento de cargas isoladas como conectados à rede de distribuição. Esses sistemas são ideais para aplicação em ambientes urbanos, pois não emitem gases poluentes ou som na geração. Além disso, podem ser instalados em ambientes já utilizados por outras finalidades, como por exemplo, em telhados de residências ou de estacionamentos de shoppings (Zilles, et. al., 2012).

Uma inconveniência atribuída a geração fotovoltaica, apesar de suas vantagens, é a baixa eficiência de conversão energética. Essa problemática pode ser minimizada com a implementação de dispositivos seguidores solares, que visam aumentar a eficiência de geração mantendo os painéis perpendiculares à irradiância direta na maior parte do tempo, captando, portanto, uma maior quantidade de irradiância (Vieira *et al.*, 2016).

A Fig. 1 mostra as curvas de irradiância global incidente em um painel fotovoltaico fixo e com seguidor solar em condição de céu limpo, ou seja, sem nuvens. A partir da Fig. 1 é possível observar que o seguidor solar permite captar maior irradiância nas primeiras e últimas horas do dia, nas quais o ângulo de incidência de um sistema com seguidor solar é menor do que o de um sistema fixo.

Um aumento de 25% de energia produzida pode ser alcançado com a utilização de seguidores de um eixo, e até 35% com seguidores de dois eixos, dependendo das condições geográficas do local da instalação e da configuração do sistema (Singh *et al.*, 2018). No entanto, os custos dos equipamentos e de manutenção do sistema também aumentam (Simon e Mosey, 2013). Por esse motivo, é importante a realização de uma análise econômica comparativa entre sistemas fotovoltaicos com estrutura fixa e com seguidores solares.

Este trabalho realiza uma análise econômica, cujo objetivo é determinar o valor máximo do custo com o sistema com seguidores solares de forma que o investimento seja rentável, ou seja, o Valor Presente Líquido (VPL) seja pelo menos igual a zero. Assim, é possível comparar o valor encontrado com dados disponíveis em literatura para concluir acerca da atratividade do investimento no sistema com seguidores solares.

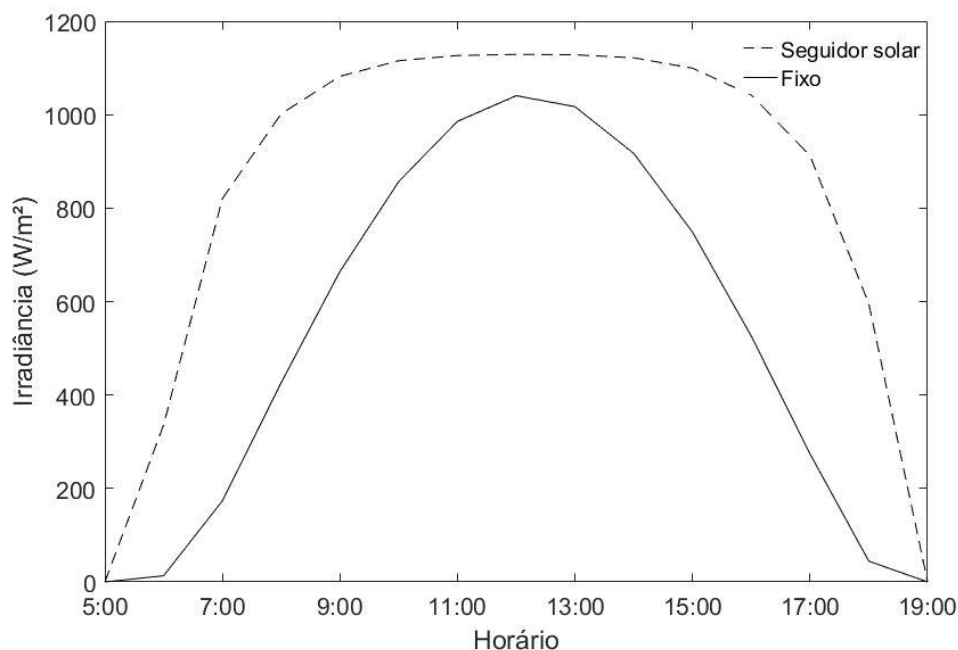


Figura 1 - Curva de irradiância global incidente em um painel fotovoltaico fixo e com seguidor solar em condição de céu limpo. Fonte: Autoria própria.

2. Métodos para análise de investimento

Para analisar a viabilidade econômica de empreendimentos, o investidor deve se munir de informações e adotar técnicas adequadas para apoiar sua tomada de decisão. Dentre os métodos disponíveis, os eleitos para serem utilizados no trabalho em tela foram os seguintes: Valor Presente Líquido (VPL) e tempo de retorno descontado do investimento (*payback time* descontado).

2.1 Fluxo de Caixa

O fluxo de caixa representa graficamente todas as receitas e despesas do projeto ao longo do tempo a ser analisado, como mostrado na Fig. 2. As setas para cima representam entradas no caixa e as setas para baixo representam saídas no caixa. Os fluxos de caixa dependem da natureza dos projetos, sendo convencional uma saída inicial de caixa, que representa o investimento inicial, e após isso, entradas seguidas de caixa (Bordeaux-Rêgo *et al.*, 2013).

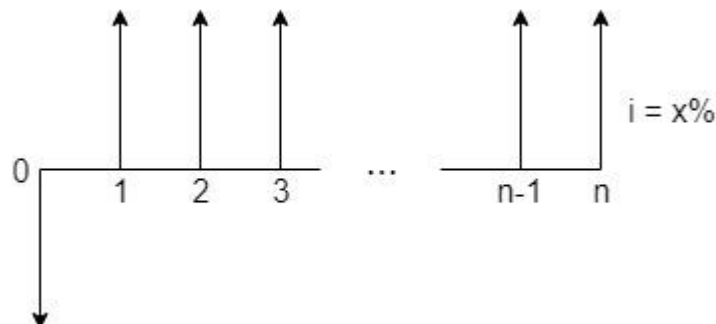


Figura 2 - Fluxo de caixa. Fonte: Autoria própria.

Para a determinação do período n deve ser considerada a vida útil dos equipamentos a serem adquiridos e das instalações a serem construídas. A taxa mínima de atratividade (TMA) i deve representar a expectativa mínima de retorno do capital investido.

2.2 Fluxo de caixa incremental

O fluxo de caixa incremental é a diferença de dois fluxos de caixa alternativos. Ele indica o incremento de um fluxo de caixa em relação a outro, em cada período da vida útil deles (Figueiredo *et al.*, 2009).

2.3 Análise de investimento

Nas subseções seguintes serão descritas as técnicas utilizadas neste trabalho para as análises de investimento.

Valor presente líquido - O VPL é o somatório de todas as despesas e receitas futuras do fluxo de caixa do projeto, durante todo o tempo de vida útil, trazidos para o presente, considerando uma taxa de juros para a correção monetária (Veríssimo, 2017). Portanto, o valor de qualquer projeto deve ser função das seguintes variáveis (Bordeaux-Rêgo *et al.*, 2013):

- Quanto foi investido;
- Quanto ele gera de fluxo de caixa;
- Quando o fluxo de caixa deve ocorrer.

O VPL é calculado pela Eq. (1):

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^N \frac{FC_t}{(1+i)^t} + \frac{VR}{(1+i)^n} \quad (1)$$

Onde I é o investimento inicial, FC_t é o fluxo de caixa líquido na data *t*, *i* é a taxa de desconto e VR é o valor residual do projeto ao final do período analisado (*n*).

A tomada de decisão a partir do VPL é resumida a seguir:

- VPL > 0, o projeto é rentável, portanto, é recomendado aceitá-lo;
- VPL = 0, é indiferente aceitar ou não o projeto;
- VPL < 0, o projeto não é rentável, portanto, é recomendável rejeitá-lo.

Tempo de retorno de investimento - O tempo de retorno de investimento, ou *payback time* é o período necessário para que a soma dos fluxos de caixa futuros seja igual ao investimento inicial. Existe o *payback* simples e o *payback* descontado, a diferença entre eles é que o *payback* descontado considera uma taxa de atratividade ou de desconto, ou seja, leva em consideração o valor do dinheiro no tempo (Bordeaux-Rêgo *et al.*, 2013).

2.4 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade, também conhecida como análise "e se", é um método utilizado para apoiar a tomada de decisão. Esse método visa verificar os resultados do projeto ao variar seus fatores críticos (Bordeaux-Rêgo *et al.*, 2013). Esses valores críticos podem ser a taxa de atratividade, ou no caso de projetos de sistemas fotovoltaicos, a inflação da tarifa de energia elétrica.

2.5 Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos

A atratividade econômica da micro e minigeração de energia está intrinsecamente relacionada com a tarifa de energia elétrica convencional da localidade onde o sistema será instalado, uma vez que o benefício se dá ao evitar a compra de energia elétrica da concessionária local (Nakabayashi, 2014).

A viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico depende, principalmente, dos seguintes fatores (Nakabayashi, 2014):

- Investimento necessário para aquisição e instalação do sistema;
- Energia gerada pelo sistema;
- Tarifa e impostos sobre a energia elétrica convencional.

Os maiores custos de um sistema fotovoltaico estão no investimento inicial, uma vez que o custo de operação e manutenção (O&M) é muito baixo, podendo ser considerado, anualmente, como cerca de 1% do investimento inicial (Veríssimo, 2017).

Os sistemas fotovoltaicos com seguidores solares têm maior investimento inicial e maior custo de operação e manutenção, quando comparados com sistemas de estrutura fixa, sendo necessário realizar uma avaliação econômica comparativa para analisar qual dos investimentos é mais rentável.

A Fig. 3 apresenta um levantamento dos custos de O&M, desenvolvido pelo NREL, de sistemas fotovoltaicos residenciais, comerciais, usina com estrutura fixa inclinada e usina com seguidores solares. Na Fig. 3, é possível perceber que os custos de O&M de usinas que utilizam seguidores solares é maior que o de usinas com estrutura fixa inclinada. Sem considerar a substituição de inversores, o custo de O&M é \$11,5/kW/ano para sistemas residenciais, \$12/kW/ano para sistemas comerciais, \$9,1/kW/ano para usinas com estrutura fixa inclinada e \$10,4/kW/ano para usinas com seguidores solares. O estudo realizado pelo NREL considera sistemas residenciais aqueles instalados em telhados com potência entre 3 kW e 10 kWp, sistemas comerciais aqueles com potência entre 10 kW e 20 MW, e os sistemas com potência maior que 2 MW instalados no chão são considerados usinas (Fu *et al.*, 2018).

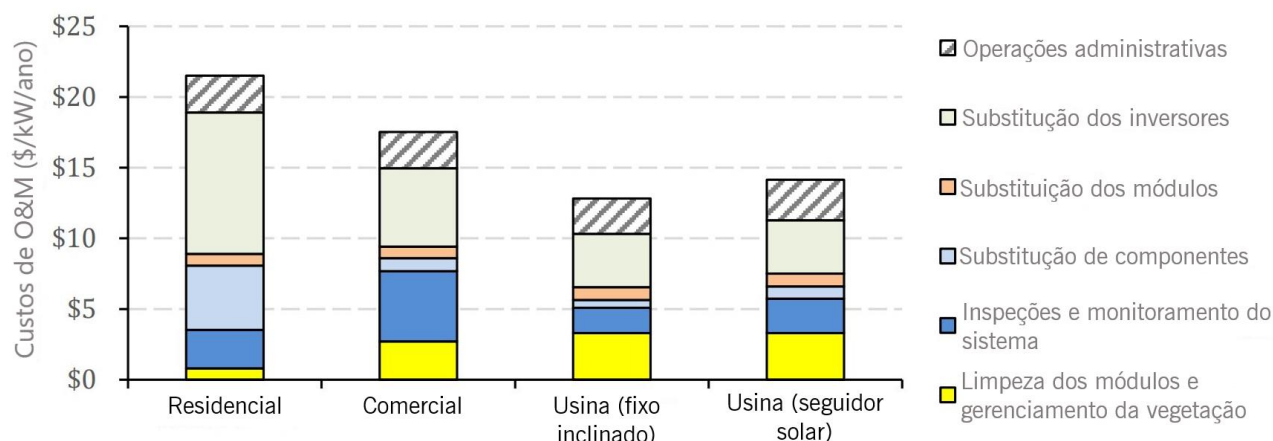


Figura 3 - Custos de operação e manutenção de sistemas fotovoltaicos residenciais, comerciais, usina (fixo inclinado) e usina (seguidor solar). Adaptado de (Fu et al., 2018).

3. Metodologia

Para realizar a avaliação técnica e econômica de seguidores solares, foi realizado um estudo econômico comparando sistemas fotovoltaicos com estrutura fixa e sistemas fotovoltaicos com seguidores solares.

Foram realizadas simulações de uma usina de 970,2 kWp em sete cidades do Brasil, as quais são listadas a seguir com suas respectivas coordenadas geográficas: Pureza – RN (5,4° Σ; 35,7° Ω), Bom Jesus da Lapa – BA (13,3° Σ; 43,8° Ω), Montes Claros – MG (16,7° Σ; 43,92° Ω), Franca – SP (20,5° Σ; 47,5° Ω), Manaus – AM (3,0° Σ; 60,2° Ω), Santa Maria – RS (29,7° Σ; 54,0° Ω), Teresópolis – RJ (22,4° Σ; 43,1° Ω). As cidades foram escolhidas de sorte a contemplar localidades onde sistemas fotovoltaicos estão sendo implantados, bem como, diferentes regiões do mapa solarimétrico.

O *software* utilizado para a realização das simulações foi o PVSyst® versão 6.79, a base de dados solarimétricos utilizada foi a Meteonorm 7.2, e o modelo de transposição utilizado foi o modelo de Perez (Perez *et al.*, 1990).

Em todas as cidades, a usina foi simulada em dois cenários. No primeiro cenário, a estrutura da usina é fixa inclinada de acordo com o ângulo ótimo indicado pelo *software* utilizado nas simulações, no segundo cenário, a estrutura da usina é composta por seguidores solares de eixo único horizontal. Em todos os dois cenários foram utilizados o mesmo modelo e a mesma quantidade de painéis e inversores. As especificações dos equipamentos utilizados constam na Tab. 1.

Tabela 1 - Especificações dos equipamentos utilizados nas simulações.

Equipamento	Marca	Modelo	Potência
Painel fotovoltaico	Canadian Solar®	CS3K-300MS	300 Wp
Inversor	Fronius International®	AGILO 100.0-3 Outdoor	100 kW

O fluxo de caixa é composto por uma despesa inicial que corresponde ao investimento inicial para aquisição e instalação do sistema. Os demais termos do fluxo de caixa (F_t) são compostos de acordo com a Eq. (2).

$$F_t = E_t \times TE_t - D_t - O\&M_t \quad (2)$$

Onde t corresponde ao ano, E_t é a energia gerada anualmente pelo sistema, TE_t corresponde à tarifa de energia corrigida pela inflação, D_t é a demanda e $O\&M_t$ é o custo de O&M.

Neste estudo, considera-se que a energia elétrica seria gerada em um local e esses créditos seriam consumidos em outro local por consumidores da classe B1 (residencial). Os valores de tarifa de energia elétrica de cada localidade foram obtidos no site da ANEEL (ANEEL, 2018). O custo de O&M foi considerado 1% do investimento inicial (Nakabayashi, 2014). Os valores de tarifa de energia de cada localidade constam na Tab. 2.

Como as alternativas são mutuamente excludentes, a análise foi realizada com base no fluxo de caixa incremental, composto apenas pelas diferenças de receitas e despesas do sistema com estrutura fixa e do sistema com seguidor solar. Portanto, a demanda não é levada em consideração, pois é igual para os dois sistemas, visto que eles possuem a mesma potência. A energia gerada anualmente considerada na análise comparativa é a diferença entre a energia gerada pelo sistema com seguidor solar e a energia gerada pelo sistema com estrutura fixa.

O objetivo da análise foi determinar o valor máximo do custo com o sistema com seguidores solares de forma que o investimento seja rentável, ou seja, o VPL seja pelo menos igual a zero. Assim, é possível comparar o valor

encontrado com dados disponíveis em literatura para concluir acerca da atratividade do investimento no sistema com seguidores solares.

Tabela 1 - Tarifas da classe B1 de cada localidade. Fonte: (ANEEL, 2018).

Cidades	Tarifa + impostos (R\$/kWh)
Pureza (RN)	0,63219
Bom Jesus da Lapa (BA)	0,74618
Montes Claros (MG)	0,87228
Franca (SP)	0,64477
Manaus (AM)	0,76253
Santa Maria (RS)	0,77882
Teresópolis (RJ)	0,85526

A partir dos resultados de diferença máxima de investimentos iniciais entre as duas configurações de sistemas e do valor do custo inicial de um sistema com painéis fixos, é possível obter a porcentagem máxima que um sistema com seguidores solares pode custar a mais que um sistema com painéis fixos e ainda assim ser mais rentável. De acordo com Veríssimo (2017), que avaliou economicamente uma usina solar fotovoltaica comparando diferentes topologias de fixação, para a localidade de Florianópolis - SC, esta diferença é de aproximadamente 14%. De acordo com Fu *et. al.* (2018), nos Estados Unidos, esta diferença é de aproximadamente 18%.

Foi considerada uma inflação de tarifa de energia elétrica de 8% ao ano, e uma taxa de desconto de 15% ao ano. Após isso, foi realizada uma análise de sensibilidade para perceber a influência da inflação na tarifa de energia e da taxa de desconto na viabilidade econômica, variando a inflação da tarifa de energia de 4 a 8% ao ano e a taxa de desconto de 15 a 20% ao ano.

4. Resultados

As irradiâncias globais e difusas anuais médias de cada cidade, de acordo com a base de dados Meteonorm 7.2, são mostradas na Fig. 4, que mostra os resultados de acordo com a ordem decrescente de irradiância global. Os resultados de energia injetada na rede anualmente para cada cidade são mostrados na Fig. 5. Nas figuras a seguir, cada cidade é representada pela sigla do respectivo estado, porém, os resultados são referentes às cidades e não ao estado.

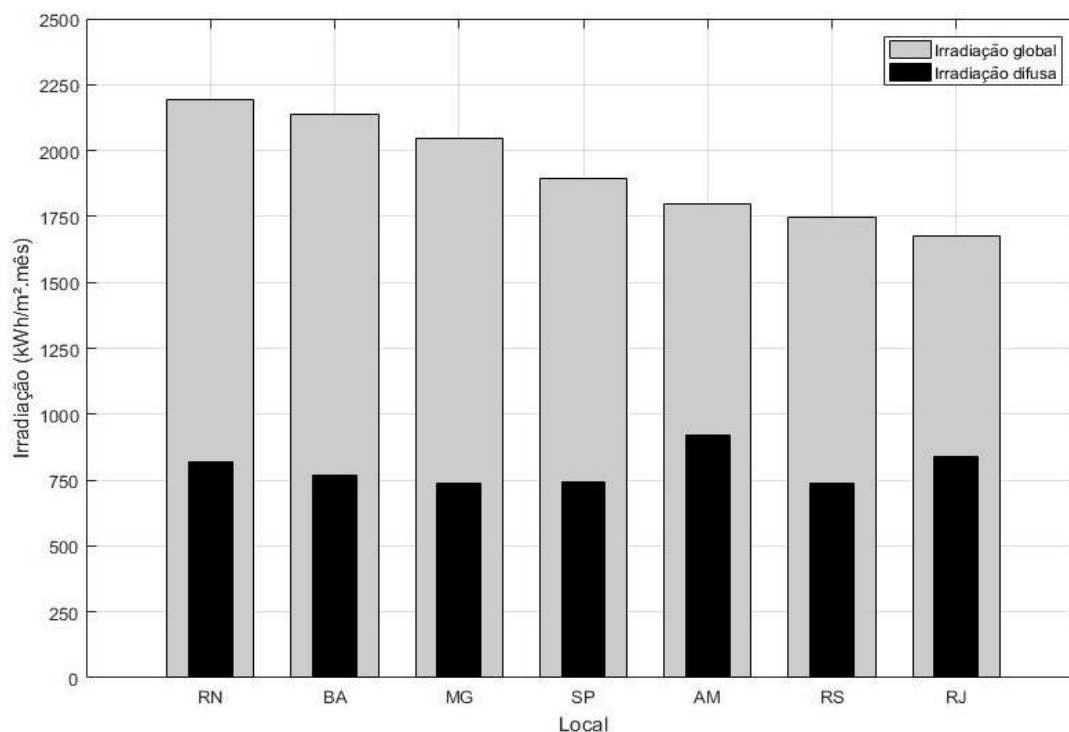


Figura 4 - Irradiância global e direta em cada localidade. Fonte: Autoria própria.

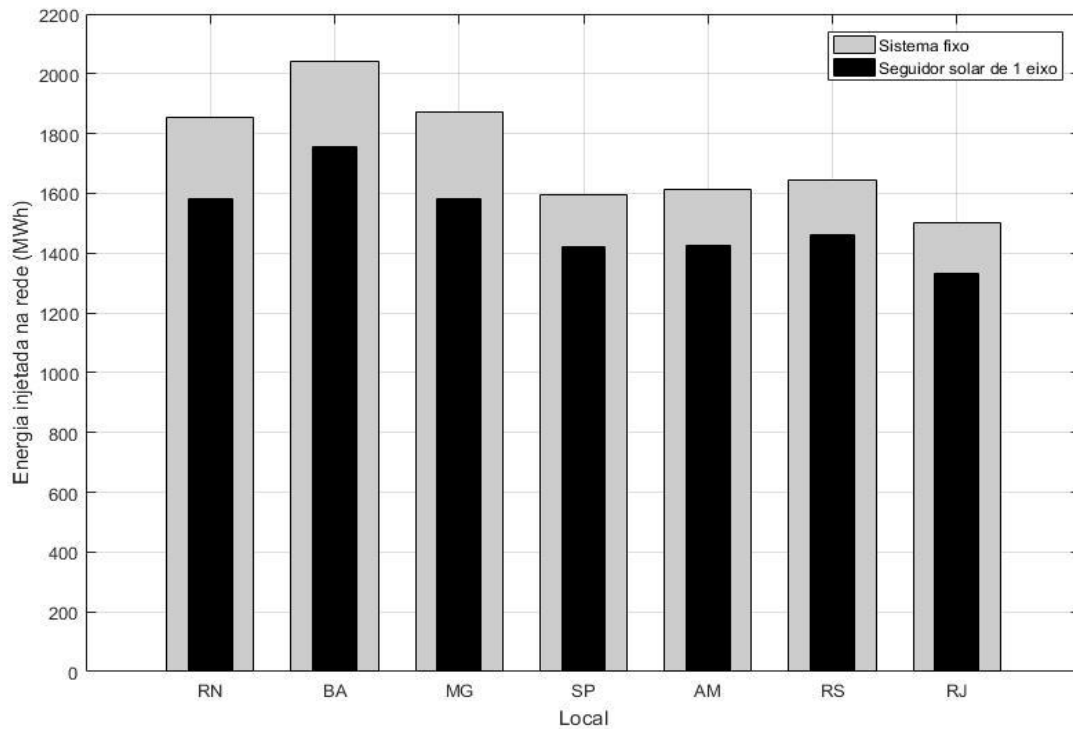


Figura 5 - Energia injetada na rede anualmente em cada localidade. Fonte: Autoria própria.

A Tab. 3 mostra o ganho de geração de energia obtido pelo sistema com seguidor solar de um eixo em comparação com o sistema fixo e os resultados de diferença de investimentos iniciais obtidos, considerando uma inflação de tarifa de energia elétrica de 8% ao ano e uma taxa de desconto de 15% ao ano.

Tabela 2 - Resultados de diferença de investimento entre sistema com seguidor solar e sistema fixo considerando 8% ao ano de inflação de tarifa de energia elétrica e 15% ao ano de taxa de desconto. Fonte: Autoria própria.

Localidade	Ganho anual de geração de energia (MWh)	Diferença de investimentos iniciais
Pureza (RN)	273	41%
Bom Jesus da Lapa (BA)	289	40%
Montes Claros (MG)	291	43%
Franca (SP)	172	22%
Manaus (AM)	184	34%
Santa Maria (RS)	180	43%
Teresópolis (RJ)	173	26%

Constata-se que, de acordo com os resultados das simulações, em Montes Claros - MG, o sistema com seguidor solar pode ser até 43% mais caro que o sistema com painéis fixos, e ele ainda será mais rentável. Já em Franca - SP, esta diferença pode ser de no máximo 22% para que o sistema com seguidor solar seja mais rentável que o sistema com painéis fixos.

As Tabelas 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 mostram os resultados da análise de sensibilidade das localidades Pureza – RN, Bom Jesus da Lapa – BA, Montes Clados – MG, Franca – SP, Manaus – AM, Santa Maria – RS e Teresópolis – RJ, respectivamente.

Observa-se que, na localidade Franca – SP obteve-se 12% como resultado de diferença de investimentos iniciais entre os sistemas analisados e na localidade Teresópolis – RJ obteve-se 14%. Esses resultados foram obtidos no pior caso da análise de sensibilidade, com 4% ao ano de inflação da tarifa de energia elétrica e 20% ao ano de taxa de desconto. Ou seja, em todas as situações da análise de sensibilidade realizada, o sistema com seguidor solar de um eixo é mais rentável que o sistema com painéis fixos.

Tabela 3 - Análise de sensibilidade da localidade Pureza - RN. Fonte: Autoria própria.

Variação da taxa de desconto	Variação da inflação da tarifa de energia elétrica				
	4%	5%	6%	7%	8%
11%	41%	45%	49%	54%	59%
12%	38%	41%	45%	49%	54%
13%	35%	38%	41%	45%	49%
14%	33%	35%	38%	41%	45%
15%	30%	33%	35%	38%	41%
16%	28%	30%	33%	35%	38%
17%	27%	28%	30%	33%	35%
18%	25%	27%	29%	30%	33%
19%	24%	25%	27%	29%	31%
20%	22%	24%	25%	27%	29%

Tabela 4 - Análise de sensibilidade da localidade Bom Jesus da Lapa - BA. Fonte: Autoria própria.

Variação da taxa de desconto	Variação da inflação da tarifa de energia elétrica				
	4%	5%	6%	7%	8%
11%	39%	43%	47%	52%	57%
12%	36%	39%	43%	47%	52%
13%	34%	36%	40%	43%	47%
14%	31%	34%	36%	40%	43%
15%	29%	31%	34%	36%	40%
16%	27%	29%	31%	34%	36%
17%	26%	27%	29%	31%	34%
18%	24%	26%	27%	29%	31%
19%	23%	24%	26%	27%	29%
20%	22%	23%	24%	26%	27%

Tabela 5 - Análise de sensibilidade da localidade Montes Claros - MG. Fonte: Autoria própria.

Variação da taxa de desconto	Variação da inflação da tarifa de energia elétrica				
	4%	5%	6%	7%	8%
11%	43%	47%	51%	56%	62%
12%	40%	43%	47%	51%	56%
13%	37%	40%	43%	47%	51%
14%	34%	37%	40%	43%	47%
15%	32%	34%	37%	40%	43%
16%	30%	32%	34%	37%	40%
17%	28%	30%	32%	34%	37%
18%	26%	28%	30%	32%	34%
19%	25%	26%	28%	30%	32%
20%	23%	25%	26%	28%	30%

Tabela 6 - Análise de sensibilidade da localidade Franca - SP. Fonte: Autoria própria.

Variação da taxa de desconto	Variação da inflação da tarifa de energia elétrica				
	4%	5%	6%	7%	8%
11%	22%	24%	27%	29%	32%
12%	21%	22%	24%	27%	29%
13%	19%	21%	22%	24%	27%
14%	18%	19%	21%	22%	24%
15%	17%	18%	19%	21%	22%
16%	15%	17%	18%	19%	21%
17%	14%	15%	17%	18%	19%
18%	14%	15%	15%	17%	18%
19%	13%	14%	15%	15%	17%
20%	12%	13%	14%	15%	15%

Tabela 7 - Análise de sensibilidade da localidade Manaus - AM. Fonte: Autoria própria.

Variação da taxa de desconto	Variação da inflação da tarifa de energia elétrica				
	4%	5%	6%	7%	8%
11%	34%	37%	40%	44%	49%
12%	31%	34%	37%	40%	44%
13%	29%	31%	34%	37%	40%
14%	27%	29%	31%	34%	37%
15%	25%	27%	29%	31%	34%
16%	24%	25%	27%	29%	31%
17%	22%	24%	25%	27%	29%
18%	21%	22%	24%	25%	27%
19%	20%	21%	22%	24%	25%
20%	19%	20%	21%	22%	24%

Tabela 8 - Análise de sensibilidade da localidade Santa Maria - RS. Fonte: Autoria própria.

Variação da taxa de desconto	Variação da inflação da tarifa de energia elétrica				
	4%	5%	6%	7%	8%
11%	43%	47%	52%	57%	62%
12%	40%	43%	47%	52%	57%
13%	37%	40%	43%	47%	52%
14%	34%	37%	40%	43%	47%
15%	32%	34%	37%	40%	43%
16%	30%	32%	35%	37%	40%
17%	28%	30%	32%	35%	37%
18%	27%	28%	30%	32%	35%
19%	25%	27%	28%	30%	32%
20%	24%	25%	27%	28%	30%

Tabela 9 - Análise de sensibilidade da localidade Teresópolis - RJ. Fonte: Autoria própria.

Variação da taxa de desconto	Variação da inflação da tarifa de energia elétrica				
	4%	5%	6%	7%	8%
11%	26%	29%	31%	35%	38%
12%	24%	26%	29%	31%	34%
13%	22%	24%	26%	29%	31%
14%	21%	22%	24%	26%	29%
15%	19%	21%	23%	24%	26%
16%	18%	19%	21%	23%	24%
17%	17%	18%	20%	21%	23%
18%	16%	17%	18%	20%	21%
19%	15%	16%	17%	18%	20%
20%	14%	15%	16%	17%	18%

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido através do programa de Pesquisa e Desenvolvimento do Setor Elétrico PD-00063-3032/2017 - PA3032: “Desenvolvimento de um modelo de Campus Sustentável na UNICAMP – Laboratório vivo de aplicações de mini geração renovável, eficiência energética, monitoramento e gestão do consumo de energia.”, regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, em parceria com a empresa CPFL Brasil.

Este trabalho também recebeu suporte do CNPq, CAPES e FAPESP (2016/08645-9).

REFERÊNCIAS

- ANEEL, 2018. Consumidores, Consumo, Receita e Tarifa Média - Empresa, Classe de Consumo e Nível de Tensão. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=550>>.
- Bordeaux-Rêgo, R., Paulo, G. P., Spritzer, I.M.P.A, Zotes, L.P., 2013. Viabilidade econômico-financeira de projetos. 4th edn. Rio de Janeiro: FGV.
- Figueiredo, J., 2009. Elaboração e Avaliação De Projetos De Investimento. Elsevier Editora Ltda., pp. 181–195. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9788535236446500179> (Acessado em 26 de agosto de 2019).
- NREL, 2018. ‘US . Solar Photovoltaic System Cost Benchmark : Q1 2018’, (November).
- IRENA, 2019. Solar Energy. Available at: <https://www.irena.org/solar>.
- MME (Ministério de Minas e Energia), 2019. ‘Relatório Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica- ProGD’, pp. 1–210. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/0/Relatório+ProGD+VFINAL+%28SEI%29.pdf/5082ebd8-2391-40d6-965a-57108cbfdde2?fbclid=IwAR2WjjUu1aePdkqjeiVIhdPjdllrhjBJPSbGDrxACYSDv0eiMmD8JO-e2cc>>.
- Nakabayashi, R. K., 2014. Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Condições Atuais e Perspectivas Futuras. Universidade de São Paulo.
- Nascimento, B. A. M., 2015. Algoritmo de Posicionamento e Backtracking para Seguidor Solar. Instituto Politécnico de Viseu.
- Perez, R., Ineichen, P., Seals, R., Michalsky, J., Stewart R., 1990. ‘Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance’, Solar Energy, 44(5), pp. 271–289. doi: 10.1016/0038-092X(90)90055-H.
- Zilles R., Macêdo, W. N., Galhardo, M. A. B., Oliveira, S. H. F., 2012. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. 1st edn. São Paulo: Oficina de Textos.
- Simon, J. e Mosey, G., 2013. ‘Feasibility Study of Economics and Performance of Solar Photovoltaics at the VAG Mine Site in Eden and Lowell , Vermont’, Nrel, (April), p. 38.
- Singh, R., Kumar, S., Gehlot, A., Pachauri, R., 2018. ‘An imperative role of sun trackers in photovoltaic technology: A review’, Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier Ltd, 82 (April 2017), pp. 3263–3278. doi: 10.1016/j.rser.2017.10.018.
- Veríssimo, P. H. A., 2017. Avaliação De Uma Usina Solar Fotovoltaica Comparando Diferentes Topologias De Sistemas De Fixação Utilizando Duas Diferentes Tecnologias Fv. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Vieira, R. G., Guerra, F. K. O. M. V, Vale, M. R. B. G., Araújo, M. M., 2016. ‘Comparative performance analysis between static solar panels and single-axis tracking system on a hot climate region near to the equator’, Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier, 64, pp. 672–681. doi: 10.1016/j.rser.2016.06.089.

COMPARATIVE ECONOMIC STUDY BETWEEN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS WITH FIXED STRUCTURE AND PHOTOVOLTAIC SYSTEMS WITH SOLAR TRACKERS

Abstract. Photovoltaic generation systems have been considered as a solution to meet the growing demand for electricity from a clean and renewable source. However, the low energy conversion efficiency of photovoltaic panels is one of the factors that hinder the competitiveness of this energy source, when compared to others. Solar trackers are used to improve the performance of photovoltaic systems; however, they have higher installation and maintenance costs. Therefore, this paper presents a comparative economic analysis between fixed photovoltaic and solar tracker systems, in order to determine the maximum cost with the solar follower system so that the investment is more profitable than the system with fixed panels. Considering an electricity tariff inflation of 8% per year and a discount rate of 15% per year, in the locality of Montes Claros - MG, the solar tracker system can be up to 43% more expensive than the fixed panel system, and it will still be more profitable. In Franca - SP, this difference can be a maximum of 22%.

Key words: Photovoltaic Systems, Solar Tracker, Economic Analysis