



Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para dimensionamento e análise da viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos

D. C. R. Velasco^{1*}, W. A. Santos², E. T. Lôbo², W. V. Bretas³, R. M. Fernandes³.

¹Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Laboratório de Materiais Avançados;

²Instituto Federal Fluminense (IFFluminense), CST Manutenção Industrial; ³Instituto Federal Fluminense (IFFluminense), Engenharia Elétrica

*davidc.r.v2014@gmail.com

Resumo

A viabilidade econômica da energia fotovoltaica depende de diversos fatores como custos associados, tarifas de energia, custo de capital, consumo e produção de energia. Visando proporcionar uma ferramenta que possibilite avaliar o potencial da energia fotovoltaica de forma genérica para diversas regiões e que seja possível alterar facilmente as premissas de cálculo foi desenvolvida uma planilha eletrônica. O desenvolvimento desta planilha foi realizado por meio do Microsoft Excel e programação em *Visual Basic for Applications* (VBA). Por meio desta planilha foi possível simular diversos cenários estimando a Taxa Interna de Retorno (TIR) anual, Valor Presente Líquido (VPL) específico e Play-Back Descontado (PBD). A TIR e VPL foram calculados por meio de funções nativas do Excel, sendo o VPL específico a razão entre o VPL e o investimento realizado. Já o PBD foi calculado por meio de uma função criada por meio do VBA.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica, planilha eletrônica, viabilidade econômica.

1. Introdução

No Brasil a energia solar fotovoltaica e eólica são as fontes de energia que mais crescem, respectivamente 92% e 15% entre 2018 e 2019^[1]. Deste 2012, por meio da regulamentação 482 da ANEEL, é possível gerar energia desta forma e reduzir o valor pago pela energia até a taxa mínima por meio de um sistema de compensação. Uma das modalidades de geração da energia solar fotovoltaica é a geração distribuída, normalmente realizada por meio de geradores de pequeno porte e a partir de fontes renováveis, próximas as unidades consumidoras. Nesse sistema, o excedente da energia gerada é armazenado na rede da concessionária e fica como saldo para o consumidor quando houver necessidade de retirar energia da rede^[2]. Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) a micro e mini geração distribuída triplicou entre julho de 2019 e junho de 2020, crescendo mesmo durante o período de pandemia em 45%^[3-4].

A geração de energia elétrica por meio de módulos fotovoltaicos é influenciada por parâmetros que variam em função da geolocalização da sua instalação, como irradiação recebida e a temperatura. Desta forma cada tecnologia tem uma respectiva eficiência a depender do local onde estará instalada^[5]. Além do desempenho dos módulos, existem outras variáveis que afetam a viabilidade de investir num sistema fotovoltaico sendo algumas delas específicas, regionais e nacionais.

Este trabalho propõe criar uma planilha que dimensione e avalie o potencial da utilização da energia fotovoltaica. Esta planilha necessita que sejam informadas as seguintes variáveis: tempo para início da geração; Taxa de Desconto (TD); custo de operação e manutenção; desagregação dos módulos fotovoltaicos; rendimento anual dos módulos fotovoltaicos; tipo de ligação; energia consumida por mês; bandeira tarifária utilizada na simulação, verde, amarela, vermelha ou uma média ponderada de acordo com um histórico; valores de tarifa referente as bandeiras; banco de dados com preços dos sistemas fotovoltaicos; alíquota dos impostos federais, Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da

Seguridade Social (COFINS); Alíquota de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) ou formula que permita estimar o mesmo para um determinado estado.

2. Materiais e Métodos

A planilha eletrônica desenvolvida neste trabalho foi desenvolvida por meio do *software* Microsoft Excel em conjunto com programação em *Visual Basic for Applications* (VBA). A Taxa Interna de Retorno (TIR) Anual e o Valor Presente Líquido (VPL) foram calculados por meio de funções nativas do Excel. Contudo, visando possibilitar uma melhor comparação entre resultados de diferentes simulações, na planilha é exibido o VPL específico. Isto é, a razão entre o VPL e o valor investido. Já o Play-Back Descontado (PBD) foi calculado por meio de uma função que não é nativa do Excel, sendo esta desenvolvida com programação em VBA.

Para calcular os indicadores financeiros supracitados, foi necessário determinar o fluxo de caixa do investimento e uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para ser utilizada como TD. O fluxo de caixa é determinado automaticamente pela planilha de acordo com o projeto, mas a TD é determinada pelo usuário. Como referência para a TD para brasileiros, sugere-se o tesouro IPCA+ 2035, visto que possui uma liquidez semelhante ao cenário simulado (15 anos) e o menor risco de crédito do Brasil. Considerou-se que o reajuste da tarifa de energia fosse 85% da inflação, devendo ser acrescentado sobre a taxa fixa, líquida, um fator que remunere um risco do investimento.

Como o desempenho de um sistema fotovoltaico depende da tecnologia utilizada e as condições no qual a mesma será submetida é necessário saber o rendimento de um módulo para realizar o dimensionamento de um sistema. Esse rendimento varia de acordo com diversas variáveis que podem ser regionais, como o clima e a temperatura em que o módulo estará submetido, ou específicas de uma situação como o sombreamento e a inclinação e direção na qual painel é instalado.

Neste trabalho foram adotadas as mesmas premissas que o Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina (IDEAL) adotou para desenvolver seu simulador, América do Sol. Isto é, o sistema é constituído de placas de silício policristalino apontadas para o norte e com uma inclinação fixa igual a latitude da localização avaliada, sem considerar um possível sombreamento da vizinhança^[6]. Desta forma, além de adotar um padrão de simulação já estabelecido, é possível utilizar os dados do América do Sol para determinar o Rendimento Anual (RA) dos módulos fotovoltaicos em uma determinada localidade. Uma vez que o RA foi definido, é necessário saber qual a Taxa Mínima (TM) que o cliente pagará independentemente de sua utilização. Essa TM varia de acordo com o tipo de ligação em 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) e 100 kWh (trifásico). Como neste trabalho é considerado um Consumo de Energia (CE) e a Produção de Energia (PE) *flat*. Isto é, que não varia ao longo do ano. A Potência Nominal (PN) de um sistema fotovoltaico pode ser calculada por meio da Eq. 1.

$$PN = \frac{(CE - TM) \cdot 12}{RA} \quad (1)$$

Contudo, a Energia Produzida (EP) por um sistema fotovoltaico varia com o tempo de utilização do mesmo, estando esta geralmente entre 0,2% e 1% ao ano^[7]. O valor do Decaimento da Produção de Energia (DEP) normalmente é fornecido e garantido pelo por um determinado período. Assim, para encontrar a EP num ano (t), pode-se utilizar a Eq. 2.

$$EP_t = (CE - TM) \cdot 12 \cdot (1 - DEP)^{t-1} \quad (2)$$

A Tarifa Base (TB) vigente é determinada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), variando de acordo com a concessionária e a Unidade da Federação (UF). A TB recebe acréscimos de acordo com as condições de geração de energia. Isto é, bandeira tarifária. A planilha permite que seja realizados simulações com uma determinada bandeira ou com uma média ponderada baseado no histórico de bandeiras tarifárias do Brasil. Acrescenta-

se ao montante anterior os impostos que podem ser calculados por meio da Eq. 3. Destes impostos somente o ICMS possui alíquotas predefinidas (que variam de acordo com a UF e quantidade de energia consumida). Os impostos federais, PIS e COFINS, atualmente variam mês a mês e usualmente são estimados de acordo com o valor médio cobrado nos últimos meses. A Eq. 4 apresenta como calcular a Tarifa Final (TF) de acordo com a TB, Impostos (I) e Acréscimo Referente a Bandeira Tarifária (ARBT).

$$I = \frac{1}{1 - (\text{PIS} + \text{CONFINS} + \text{ICMS})} - 1 \quad (3)$$

$$\text{TF} = (\text{TB} + \text{ARBT}) \cdot (1 + I) \quad (4)$$

A planilha foi desenvolvida de forma a simular um cenário de 15 anos de utilização dos equipamentos sem a necessidade de troca, um dos cenários simulados por Dantas e Pompermayer (2018). Este cenário é mais simples, pois não necessita estimar o preço futuro dos equipamentos a serem substituídos e possui um custo unitário próximo a um cenário de 20 anos em que é necessária a substituição do inversor e *stringbox*^[8]. O Custo de Projeto (CP) foi estimado por meio da interpolação linear de um banco de dados obtidos ao contactar empresas do segmento na localidade avaliada. O valor investido do projeto é o valor presente do CP, onde o mesmo é trazido a valor presente por uma TD. Considerou-se que o tempo entre pagamento e início da geração de energia é de 2 meses, visto o procedimento estabelecido pela ANEEL^[9]. Por fim, o restante do fluxo de caixa é determinado Economia de Energia (EE). A EE de um determinado ano (t) pode ser obtida por meio da Eq. 5, sendo considerado os Custos de Operação e Manutenção (COM) estimando em 1% do CP conforme Nakabayashi (2015)^[10].

$$\text{EE}_t = \text{EP}_t \cdot \text{TF} - 0,01 \cdot \text{CP} \quad (5)$$

3. Resultados e Discussão

A planilha desenvolvida possibilita que seja avaliada a influência de diversas variáveis tais como: energia consumida, desagregação dos módulos fotovoltaicos, impostos, tipos de ligação, bandeira tarifária, tempo de implantação de um projeto e TD. A *sheet* principal, na qual são alteradas as principais variáveis, pode ser visualizada na Fig. 1, sendo os dados dela referentes a um dimensionamento realizado para Campos dos Goytacazes.

Premissas de Projeto do Sistema Fotovoltaico		Resultado do Sistema Selecionado	
Tempo de Duração do sistema	15 anos	Valor Investido	R\$ 9.143,14
Economia de um ano X	R\$ 1.660,66	Valor por unidade produzida	R\$ 6,43 /Wp
Ano que se deseja avaliar	Ano 0	Tempo para início da geração	2 Meses
Tarifa	R\$ 0,92527	Economia de energia Total	R\$ 22.013,66
Impostos	31,87%	Análise Econômica	
PIS + COFINS (2019)	6,17%	Taxa de Desconto/TMA	10,25%
ICMS	18%	TIR	15,47%
Bandeiras	Média	VPL Específico	26,61%
Energia Consumida em média por mês	208 kWh/mês	PBD	8,90 anos
Tipo de Ligação	Bifásico	Legenda:	
Energia Produzida	1894 kWh/ano	Cinza - Constantes	
Potência Nominal	1400 Wp	Azul - Lista de valores predefinidos	
Rendimento Anual	1,353 kWh/Wp	Verde - Variáveis	
Taxa de Desconto	100,00%	Amarelo - Resultados Secundários	
Desagregação dos módulos	0,8%/ano	Laranja - Resultados Principais	
Operação e Manutenção	1,00%		

Figura 1. Layout principal da planilha elaborada.

Ao comparar a metodologia de cálculo e o resultando obtidos com outros trabalhos como o simulador do IDEAL^[6] e outros trabalhos sobre desenvolvimento de planilhas de dimensionamento^[11], podemos observar que a planilha desenvolvida neste trabalho atende aos requisitos de dimensionamento com o diferencial de também realizar uma avaliação

econômica mais detalhada e personalizada, de acordo com as premissas do usuário. Além de exibir o ganho de capital, os indicadores financeiros utilizados no presente estudo também levaram em consideração o valor do dinheiro perante ao tempo. Acrescenta-se ainda que a planilha permite visualizar a queda da produção de energia, bem como a seu efeito na economia de energia.

4. Conclusões

Os resultados do dimensionamento estavam ligeiramente diferentes quando comparados com dimensionamentos realizados por empresas que compunham o banco de dados do projeto. Atribui-se a essa diferença principalmente a consideração da sazonalidade do consumo e produção de energia, visto que estas variáveis influenciam na capacidade do sistema instalado. Contudo, considerando que objetivo deste trabalho é desenvolver uma planilha para uma avaliação regional pode-se dizer que a mesma atendeu aos objetivos propostos.

Percebeu-se também que a maior parte das empresas consideravam cenários de reajuste tarifário e TD desatualizados com o cenário atual brasileiro. Sendo os resultados obtidos por meio desta planilha em alguns casos significativamente diferentes. Assim, ressalta-se a importância de que o consumidor avalie se as premissas de cálculo e que as empresas atualizem as mesmas, uma vez que a rentabilidade do tesouro direto e a inflação no Brasil não são estáveis. Desta forma, este trabalho pode contribuir para os que desejarem estudar, ensinar, desenvolver pesquisas ou até mesmo simulações sobre sistemas fotovoltaicos, do ponto de vista energético e/ou econômico. A utilização desta planilha possibilita também que sejam realizados estudos iniciais sobre a viabilidade da energia fotovoltaica numa determinada região. Contudo, ressalta-se que este método não substitui uma avaliação para um projeto específico, visto que existem variáveis específicas que não podem ser previstas por num dimensionamento genérico.

Referências

- [1] EPE. **Balanco Energético Nacional 2020**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>>. Acesso em: 6 set. 2020.
- [2] ANEEL. **Microrregião distribuída: sistema de compensação de energia elétrica**. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2016.
- [3] ABSOLAR. **Geração solar distribuída atinge marca de 3 GW de potência instalada no Brasil**. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/geracao-solar-distribuida-atinge-marca-de-3-gw-de-potencia-instalada-no-brasil.html>>. Acesso em: 6 set. 2020.
- [4] _____. **Energia solar triplica no país em 1 ano: saiba quanto dá para economizar**. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/energia-solar-triplica-no-pais-em-1-ano-saiba-quanto-da-para-economizar.html>>. Acesso em: 6 set. 2020.
- [5] PINHEIRO, E. et al. **Avaliação do potencial da geração fotovoltaica em diferentes condições climáticas na matriz elétrica brasileira**. V Congresso Brasileiro de Energia Solar. Anais...Gramado: 2014.
- [6] AMERICA DO SOL. **Sobre o Simulador Solar**. Disponível em: <<http://americadosol.org/sobre-o-simulador-solar/>>. Acesso em: 17 jun. 2020.
- [7] BRANKER, K.; PATHAK, M. J. M.; PEARCE, J. M. **A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 15, n. 9, p. 4470–4482, dez. 2011.
- [8] DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, M. F. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. IPEA: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/8400>>. Acesso em: 30 abr. 2019.
- [9] Brasilagro. **Demanda por energia crescerá 62% impulsionada por veículos elétricos**. Disponível em: <<https://www.brasilagro.com.br/conteudo/demanda-por-energia-crescera-62-impulsionada-por-veiculos-eletricos.html>>. Acesso em: 9 set. 2020.
- [10] NAKABAYASHI, R. **Microrregião fotovoltaica no Brasil: Viabilidade econômica**. Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos: Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP), 2015.
- [11] FERREIRA, R. D. A. et al. **Planilha para a estimação técnica e financeira de um sistema fotovoltaico**. Revista Ciências do Ambiente On-Line, v. 9, nov. 2013.