



## **ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA, PELO MÉTODO DE MONTE CARLO, DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

**Helder Maia de Andrade**

heldermaiadeandrade@gmail.com  
Universidade Federal Fluminense –  
UFF, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil.

**Nilson Brandalise**

nilson\_01@yahoo.com.br  
Universidade Federal Fluminense –  
UFF, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil.

### **RESUMO**

Apesar do desenvolvimento tecnológico promover maior eficiência energética dos equipamentos e dispositivos, a demanda por energia aumenta com o crescimento da população e pela busca por mais conforto e bem-estar do ser humano. O crescimento sustentável passa por fontes de energias renováveis e de baixo custo. A posição geográfica do Brasil evidencia um alto potencial para energia solar fotovoltaica favorecendo a geração distribuída, porém, os investimentos iniciais são considerados limitantes para que haja uma maior participação na matriz elétrica brasileira. O objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade econômico-financeira de um sistema fotovoltaico para geração distribuída. A metodologia científica para este estudo considerou um cenário real, aplicando-se técnicas de análise de investimentos e simulação de Monte Carlo, usando distribuições probabilísticas para os principais parâmetros de entrada envolvidos na análise. O resultado para o caso adotado apresentou uma discreta viabilidade do projeto, caracterizando-se como a principal contribuição científica do trabalho. Melhores resultados serão obtidos na medida em que os custos dos sistemas fotovoltaicos se tornem mais atrativos através de economia de escala, desenvolvimento tecnológico e regulações de maior incentivo.

**Palavras-chave:** Monte Carlo; Tomada de Decisão; Geração Distribuída; Fotovoltaica



## 1. INTRODUÇÃO

A humanidade evolui com o desenvolvimento tecnológico e o uso dos recursos materiais para garantir as necessidades básicas, além de aumentar o conforto e bem-estar das pessoas, sendo que, na maioria dos casos, esta evolução promove o aumento do consumo de energia.

A população mundial crescerá de 7,6 para 8,6 bilhões de pessoas em 2030; no Brasil, a população aumentará em 16 milhões de pessoas, chegando a 225 milhões de habitantes (United Nations, 2017). Este crescimento implicará em maior demanda por alimentos, água potável e, consequentemente, mais energia.

Desde o século passado os combustíveis fósseis vêm sendo a principal fonte energética do planeta, porém, nas últimas décadas, as pesquisas científicas relatam sobre seus danos causados ao meio ambiente, dentre estes sobressaem-se os resultantes do aquecimento global com todos os desdobramentos para o futuro (Facci *et al.*, 2018) e os respectivos prejuízos à saúde das pessoas.

A posição geográfica do Brasil evidencia um alto potencial para energia solar fotovoltaica, favorecendo a geração distribuída, contudo, a capacidade instalada tem baixa representatividade na matriz energética do Brasil apesar do expressivo crescimento anual de 54% (2016/2015).

A participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira é muito acima da média mundial (EPE, 2017). Dentro desta matriz, a energia elétrica participou com 579 TWh, correspondendo a 17,5% do total. Na geração da energia elétrica brasileira foram utilizados 81,7% de fontes renováveis, e à geração houve uma importação líquida de energia elétrica de 40,8 TWh para atendimento.

A geração de energia elétrica no Brasil é predominantemente centralizada e, apesar de grande parte estar interligada, apresenta altos custos de transmissão devido às dimensões continentais do nosso país. Uma desvantagem da grande participação das hidrelétricas é a vulnerabilidade quanto às questões climáticas (escassez de chuvas) que influenciam nos níveis dos reservatórios, que abaixo de um limiar mínimo demandam por maior utilização das centrais termoeletricas (Dranka; Ferreira, 2018), as quais, na maioria dos casos, utilizam fontes não renováveis e mais caras, impactando nas contas de energia dos consumidores e no meio ambiente.

No Brasil, a Geração Distribuída (GD) ainda tem uma baixa capacidade instalada: em 2016 foi de 72,5 MW, o que representou 0,05% da capacidade instalada para geração de energia elétrica que foi de 150.410 MW. A evolução regulatória, principalmente a partir da Resolução Normativa

482/2012, vem favorecendo a expansão da capacidade da GD no Brasil.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017) divulgou em 19 de outubro de 2017 que a tecnologia fotovoltaica abrange 99% das unidades consumidoras com GD no país: das 16.109 unidades, 15.970 são usinas solares, 53 eólicas, 66 termelétricas e 20 centrais geradoras hidrelétricas (CGH).

A construção civil brasileira evidencia a tendência em construções sustentáveis e ecoeficiência (Marchi *et al.*, 2018). A adoção dos sistemas fotovoltaicos (FV) contribuirá para minimizar a utilização de recursos não renováveis.

Quando se considera que um sistema FV tem um ciclo de vida de até trinta anos, a viabilidade econômico-financeira para a geração distribuída é demonstrada (Lammoglia; Brandalise, 2018). O problema está na viabilidade econômico-financeira com retorno de investimento em poucos anos (Solano; Brito, 2018). A regulação, principalmente através das resoluções normativas 482/2012 e 687/2015, vem contribuindo para incentivar a adoção de FV (Gomes *et al.*, 2018), porém os investimentos iniciais são considerados limitantes para que haja uma maior participação na matriz elétrica brasileira.

O desenvolvimento tecnológico nos painéis fotovoltaicos e demais componentes do sistema tem resultado em melhores taxas de rendimentos. Este desenvolvimento aliado à economia de escala vem contribuindo para reduzir os investimentos iniciais para implantação de sistemas (Zeb *et al.*, 2018).

O objetivo geral deste trabalho é analisar a viabilidade econômico-financeira, pelo método de Monte Carlo, de um sistema fotovoltaico para geração distribuída.

A justificativa deste trabalho se dá pelo fato de que a energia solar FV para GD contribui para minimizar os gastos com energia aos consumidores de forma sustentável. Apesar do investimento inicial ser considerado alto em relação ao tempo de retorno, este investimento tem baixa representatividade no custo total da obra e é agregado parcial ou totalmente ao valor do imóvel. Adicionalmente, o sistema minimiza possibilidades de adicionais na conta de energia em períodos de baixos níveis de água nos reservatórios.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

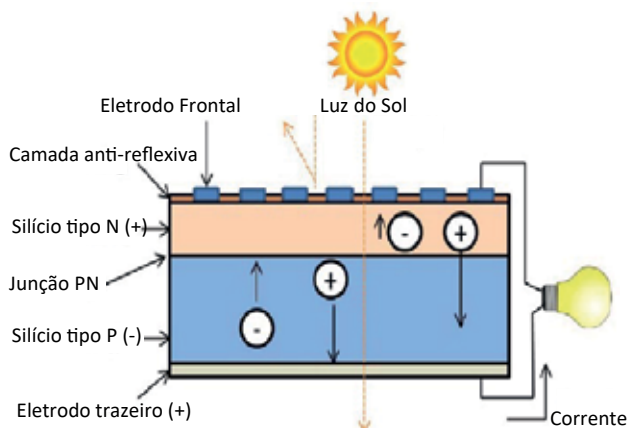
### Energia solar fotovoltaica

Um sistema fotovoltaico converte diretamente a luz do sol em eletricidade, portanto, a capacidade de geração foto-



voltaica depende da incidência direta da luz solar. O dispositivo básico deste sistema é a célula fotovoltaica. As células podem ser agrupadas para formar painéis ou matrizes. Um painel é formado por um conjunto de células conectadas para obter grandes tensões e/ou correntes de saída. Um arranjo fotovoltaico pode ser um painel ou um conjunto de painéis conectados em série ou paralelos para formar grandes sistemas fotovoltaicos. A tensão e a corrente disponíveis nos terminais de um dispositivo fotovoltaico podem alimentar diretamente pequenas cargas, como sistemas de iluminação e motores de corrente contínua. Aplicações mais sofisticadas requerem conversores eletrônicos para processar a eletricidade do dispositivo fotovoltaico. Esses conversores podem ser usados para regular a tensão e a corrente na carga, controlar o fluxo de energia em sistemas conectados à rede (*grid tie*) e, principalmente, rastrear o ponto de potência máxima do dispositivo (Villalva et al., 2009).

A Figura 1 ilustra a estrutura física de uma célula fotovoltaica, que é basicamente um diodo semiconductor, cuja junção p – n é exposta à luz.



**Figura 1.** Estrutura física de uma célula fotovoltaica

Fonte:(Sampaio; González, 2017)

As células fotovoltaicas são feitas de vários tipos de semicondutores usando diferentes processos de fabricação. As células de silício monocristalino e policristalino são as únicas encontradas em escala comercial na atualidade. As células de silício são compostas por uma camada fina de silício conectada aos terminais elétricos. Um dos lados da camada é dopado para formar a junção p – n. Uma fina grade metálica é colocada na superfície do semiconductor voltada para o Sol. O fenômeno fotovoltaico pode ser descrito como a absorção de radiação solar, a geração e o transporte de transportadores livres na junção p - n e a coleta dessas cargas elétricas nos terminais do dispositivo (Villalva et al., 2009).

## Geração distribuída

A ANEEL é responsável por regular as atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica.

Antes da privatização do setor de distribuição de energia elétrica, ocorrida no início deste século, as empresas eram verticalizadas e não havia separação dos negócios da cadeia (geração, transmissão e distribuição). Com a liberalização do mercado, as empresas Distribuidoras de Energia Elétrica (DEE) passaram a ter Procedimentos de Distribuição (Prodist) que dispõem disciplinas, condições, responsabilidades e penalidades relativas à conexão, planejamento da expansão, operação e medição de energia elétrica. A GD vem se consolidando nas últimas décadas e as regulações pertinentes têm facilitado a inserção das energias sustentáveis nos principais países do mundo (Andrade; Silveira, 2018).

No Brasil, de acordo com a Resolução Normativa 687/2015 que revisou a de número 482/2012, é considerada mini ou microgeração distribuída a produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais que utilizam fontes renováveis conectadas à rede de distribuição por unidades consumidoras. Microgeração possui potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW), enquanto a minigeração distribuída tem potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 megawatts (MW) para a fonte hídrica e 5 MW para as demais fontes (ANEEL, 2016).

A resolução normativa nº 482/2012 da ANEEL é o principal documento que regulamenta o funcionamento dos sistemas FV conectados à rede (*grid tie*) no Brasil. A resolução definiu as principais regras para o funcionamento da chamada micro e minigeração distribuída, modelo em que pequenos usuários podem produzir sua própria energia elétrica de forma integrada à rede de distribuição das concessionárias.

A resolução também definiu o sistema de compensação de energia elétrica. Esse sistema permite que o consumidor tenha abatido da fatura de energia elétrica o valor referente à quantidade de energia produzida pelo sistema FV, em kWh. Cada unidade de energia que é produzida pelo sistema se traduz em uma economia do mesmo montante que a concessionária cobraria para fornecer ao consumidor, em kWh.

Quando o consumidor produzir mais do que consome durante um mês, as concessionárias fornecerão o crédito respectivo, em kWh, que tem validade de 60 meses para utilização quando o consumo for maior que a geração de energia, como em épocas de menor irradiação. Caso o consumidor tenha interesse em produzir toda a energia que consome, pagará na fatura mensal apenas as outras despesas, quase todas fixas, como o “custo de disponibilidade”, conhecido



como “taxa mínima”, eventuais bandeiras tarifárias e a contribuição para iluminação pública.

A GD, através de pequenos geradores próximos ao consumo e na abrangência de atuação da respectiva DEE, apresenta algumas vantagens potenciais: postergação de investimentos em geração, transmissão e distribuição de energia elétrica; baixo impacto ambiental; melhoria do nível de tensão da rede no período de pico; e diversificação da matriz energética. Porém, apresenta algumas desvantagens derivadas do crescimento das instalações de pequenos geradores distribuídos de forma não coordenada, tais como: maior complexidade operacional da rede; diferenciação no sistema de cobrança e perda de faturamento por parte das DEE.

Dentre as principais fontes de energias sustentáveis viáveis economicamente, a energia solar foto voltaica tem um grande potencial no Brasil dados os altos índices de irradiação solar. A Figura 2 apresenta um mapa da irradiação solar no mundo, em kWh/m<sup>2</sup>.

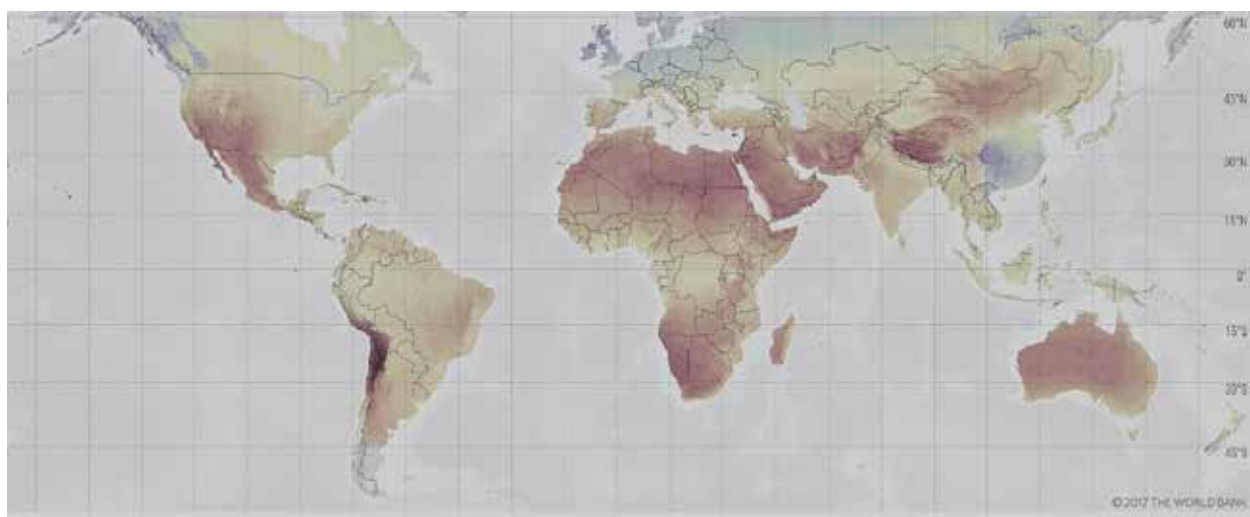
A geração FV ainda não é representativa e nem é destacada nas estatísticas pertinentes, como pode ser visto na Figura 3, a qual evidencia que, apesar de um crescimento de 44,7% em 2016 sobre 2015, não aparece na variação de volume (EPE, 2017). Portanto há um grande potencial de crescimento tendo em vista os progressos da regulação, ainda que pese as limitações de financiamento e os custos para implantação de GD.

### Simulação de Monte Carlo

Na construção da primeira bomba atômica teve origem o método da simulação de Monte Carlo, que ocorreu durante a Segunda Guerra Mundial ao longo das pesquisas no laboratório de Los Alamos. Foi proposto por Von Neumann e Ulam para a solução de problemas matemáticos que não se mostravam viáveis por meio do tratamento analítico.

Inicialmente destinava-se à avaliação de integrais múltiplas para o estudo da difusão de nêutrons. Depois verificou-se que ele poderia ser aplicado em outros problemas matemáticos mais complexos de natureza determinística. O nome Monte Carlo foi adotado pelo fato de a presença da aleatoriedade lembrar jogos de azar em alusão ao famoso cassino de Mônaco fundado em 1862, além de razões de sigilo (Brandalise; Cardoso, 2010).

A simulação de Monte Carlo é uma abordagem probabilística que permite que a incerteza seja considerada ao calcular o valor esperado, isto é, avaliar o que pode acontecer e como é provável que ocorra. Usando distribuições probabilísticas para os principais parâmetros de entrada envolvidos na análise, é possível recuperar o valor resultante como uma distribuição de probabilidade, a partir da qual informações de incerteza podem ser derivadas usando métodos estatísticos comuns. Cada iteração de Monte Carlo consiste em amostrar valores aleatórios a partir das distribuições de entrada dadas e computar o resultado correspondente (Pillot et al., 2018).



**Figura 2.** Mapa mundial da irradiação solar em kWh/m<sup>2</sup>.

Fonte: Adaptado de Solargis, 2018



Fonte de Energia (Mtep)	2015	2016	Δ 16/15
Renováveis	123,7	125,4	1,4%
Energia hidráulica *	33,9	36,3	7,1%
Bionassa da cana	50,6	50,3	-0,6%
Lenha e carvão vegetal	24,9	23,1	-7,2%
Eólica	1,9	2,9	52,6%
Solar	0,005	0,007	40,0%
Lixívia e outras renováveis	12,4	12,8	3,2%
Não Renováveis	175,9	163,0	-7,3%
Petróleo e derivados	111,6	105,4	-5,6%
Gás natural	41,0	35,6	-13,2%
Carvão mineral	17,6	15,9	-9,7%
Uranio (U3O8)	3,9	4,2	7,7%
Outras não renováveis	1,8	1,9	5,6%

\* Inclui importação de eletricidade oriunda de fonte hidráulica

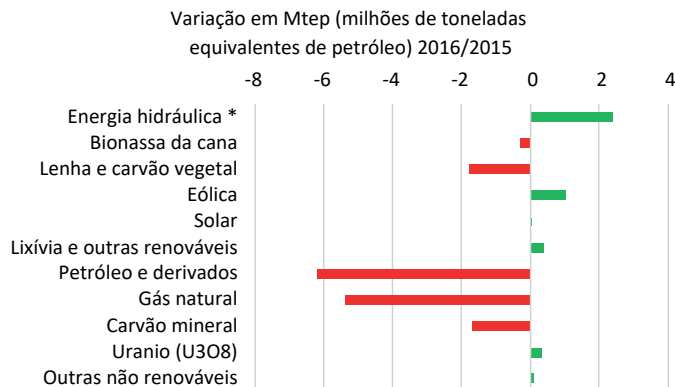


Figura 3. Oferta interna de energia no Brasil 2016/2015.

Fonte: EPE, 2017

### Técnicas de análise de investimento

A decisão sobre um investimento demanda conhecimento e utilização de técnicas adequadas para que o resultado das análises contribua para a melhor decisão. No caso do estudo em questão, as técnicas escolhidas foram Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR). O VPL e a TIR são comumente usados para avaliar a rentabilidade de um investimento, calculando a diferença entre os valores descontados dos fluxos de caixa ao longo da vida dos projetos. Ambos permitem uma comparação de desempenho intuitiva entre regiões e tecnologias para diferentes projetos.

$$VPL = \left[ \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+K)^t} \right] - \left[ I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1+K)^t} \right] \quad (1)$$

Segundo Samanez (2010), o método do VPL tem como finalidade calcular, em termos de valor presente, o impacto dos eventos futuros associados a uma alternativa de investimento, ou seja, mede o valor presente dos fluxos de caixa gerados pelo projeto ao longo de sua vida útil. O VPL leva em consideração o valor presente do dinheiro. É o método padrão mais aceito usado em avaliações financeiras para projetos de longo prazo. Não existindo restrição de capital, argumenta-se que esse critério leva à escolha ótima, pois maximiza o valor da empresa. O VPL é expressado conforme a equação 1:

Onde:

FCt = fluxo (benefício) de caixa de cada período;

K = taxa de desconto do projeto, representado pela rentabilidade mínima requerida;

IO = investimento processado no momento zero;

It = valor do investimento previsto em cada período subsequente;

Σ = somatório, indica que deve ser realizada a soma da data 1 até a data n;

Critério de decisão: se VPL > 0, o projeto é economicamente viável.

Já a TIR tem como objetivo encontrar uma taxa intrínseca de rendimento e não a avaliação da rentabilidade absoluta à determinado custo de capital, como o VPL (Samanez, 2010).

O tamanho da TIR apresenta uma correlação direta com a atratividade do investimento em porcentagem, ou seja, uma TIR elevada indica que a oportunidade de investimento é favorável.

$$I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1+K)^t} = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+K)^t} \quad (2)$$

A TIR pode ser representada pela equação 2 (Medina et al., 2015), sendo apresentada normalmente em valores percentuais:

Onde:

IO = montante do investimento no momento zero (início do projeto);

It = montantes previstos de investimento em cada momento subsequente;

K = taxa de rentabilidade equivalente periódica (TIR);

FC = fluxos previstos de entradas de caixa em cada período de vida do projeto (benefícios de caixa).



### Critérios para tomada de decisão

A tomada de decisão deve considerar os principais fatores que influenciam no sistema FV. No Quadro 1 são apresentados os fatores que influenciam na taxa de rendimento do sistema e consequentemente na performance econômica. O conhecimento destes fatores de decisão se faz necessário para um adequado dimensionamento do sistema. A geografia é o primeiro fator de decisão, pois considera o nível de irradiação solar do local onde o projeto será instalado. O Centro de Referência Para Energia Solar e Eólica Sergio de S. Brito (CRESESB), com o objetivo de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas FV, disponibiliza o programa SunData v 3.0 que destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional, de acordo com a latitude e longitude respectiva.

Fator		Efeito na Performance Econômica
Localização Geográfica	+	Quanto maior o nível de Irradiação melhor, sombras prejudicam.
Temperatura Externa	-	Acima de 25° a performance começa a reduzir
Taxa de Performance do Sistema FV	+	Painéis mais eficazes têm forte influência, micro inversores também
Tipos de Construções	-	Restrições de Orientação e Inclinação de telhados já existentes
Demanda residencial	+	Equipamentos de alto consumo (ex. aquecedores de piscina)
Preços de Energia	+	Alto custo da Energia no Brasil favorece
Regulação	+	Sistema de Compensação (Net meeting)
Manutenção	-	Apesar do baixo custo de manutenção tem alguma influência
Custo de Capital	-	Forte influência do investimento inicial

**Quadro 1.** Fatores para Tomada de Decisão

Fonte: Adaptado de Lang et al., 2015

### 3. METODOLOGIA CIENTÍFICA

Para se analisar a viabilidade da implementação do sistema, adotou-se um cenário real aplicando-se técnicas de análise de investimentos e simulação de Monte Carlo. Assim, foi considerada como referência uma residência de um bairro na cidade de Guaratinguetá, no interior do estado de São Paulo, cuja Latitude 22,816389 Sul e Longitude 45,1925 Oeste indicam uma irradiação total anual de 1.726,25 kWh/m<sup>2</sup>, de acordo com programa SunData v 3.0, com consumo médio mensal de 584,1 kWh informados na conta de energia do mês de setembro de 2018, contemplando os doze meses anteriores, atendida pela distribuidora EDP – Energias de Portugal.

As análises e os cálculos foram realizados através do software Microsoft Office Excel, pois sua utilização facilita os cálculos e é garantida aos números a aleatoriedade, a independência, o valor uniformemente distribuído e a não repetição de sequências.

Para os cálculos do dimensionamento e do valor a ser investido foram utilizadas as informações de tipo de ligação, taxa mínima de consumo, taxa de iluminação pública, consumo mensal da residência, área do telhado disponível, irradiação total anual, eficiência do módulo, taxa de desempenho do sistema, além dos seguintes parâmetros selecionados para a simulação de Monte Carlo: vida útil, taxa de atratividade, preço do Wp instalado, energia não desperdiçada, tarifas com encargos e custos de manutenção.

Pesquisas de mercado foram realizadas para verificar os preços dos equipamentos, acessórios e mão de obra que compõem o preço do Wp instalado e o respectivo valor total a ser investido.

Para a simulação de Monte Carlo, consideramos 5.000 de iterações. Cada valor de VPL foi calculado e depois contado para recuperar a distribuição de probabilidade de saída correspondente.

### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para a tomada de decisão foram considerados os principais fatores que influenciam no sistema FV, principalmente quanto à taxa de rendimento. O VPL foi uma técnica de análise de investimento adequada para este estudo e a utilização da abordagem probabilística do método de Monte Carlo permitiu que a incerteza fosse considerada no cálculo no valor esperado.

Após as 5.000 iterações, foi constatada a viabilidade do VPL ser maior do que zero.

As informações iniciais para o projeto foram obtidas na conta mensal de energia do mês de setembro de 2018 de um consumidor da cidade de Guaratinguetá no estado de São Paulo, onde é apresentado o histórico de consumo dos últimos 12 meses, o tipo de ligação (monofásico, bifásico ou trifásico) que define a tarifa mínima de consumo, o detalhamento dos custos unitários de energia por faixa de consumo com os respectivos impostos incidentes, bem como custos adicionais para diferentes bandeiras tarifárias e eventuais custos fixos de iluminação pública, por exemplo.

Os níveis de irradiação solar são a base do dimensionamento de qualquer projeto para instalação de sistemas FV. A partir das informações de latitude e longitude do local onde se projeta a instalação do sistema obteve-se, através do pro-



grama de potencial solar SunData v 3.0, os valores médios mensais de irradiação, conforme descritos na Tabela 1, sendo que o valor médio diário no ano foi de 4,74 kWh/m<sup>2</sup>.

**Tabela 1.** Irradiação Solar: média diária e mensal

Mês	dias/mês	kWh/m <sup>2</sup> /dia	kWh/m <sup>2</sup> /mês
jan	31	5,56	172,36
fev	28	5,79	162,12
mar	31	4,91	152,21
abr	30	4,48	134,40
mai	31	3,68	114,08
jun	30	3,41	102,30
jul	31	3,55	110,05
ago	31	4,51	139,81
set	30	4,67	140,10
out	31	5,15	159,65
nov	30	5,24	157,20
dez	31	5,87	181,97

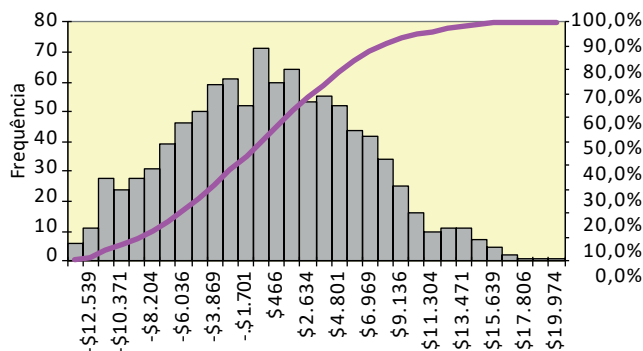
Fonte: Elaborado a partir do Programa SunData v 3.0, CRESESB

Após os cálculos do dimensionamento do sistema foram realizadas pesquisas de mercado onde os menores preços estão descritos na Tabela 2.

Os parâmetros selecionados para a simulação de Monte Carlo com seus valores mínimos, mais prováveis e máximos, são apresentados na Tabela 3.

Com a utilização dos parâmetros da Tabela 3, o VPL foi calculado e a partir de 5.000 iterações a média constatada foi de R\$ 518,14, a mediana de R\$ 365,90 e o desvio padrão

de R\$ 6.442,33 distribuídos conforme Figura 4, mostrando a distribuição acumulada dos resultados aleatórios gerados.



**Figura 4.** Distribuição dos VPLs

Fonte: Os próprios autores (2018).

Após as cinco mil iterações, a probabilidade apresentada do VPL ser maior que zero é de 53,2%.

## 5. CONCLUSÃO

As técnicas de análise de investimentos e simulação de Monte Carlo, usando distribuições probabilísticas para os principais parâmetros de entrada envolvidos na análise, aplicadas em um caso real, se mostrou eficaz na análise de viabilidade econômico-financeira de um sistema fotovoltaico para geração distribuída, atingindo o objetivo deste trabalho.

**Tabela 2.** Detalhamento dos preços

Produto	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)	Participação no Custo Total (%)
Painel Solar 330 Wp	22	680,00	14.960,00	47%
Inversor Grid-Tie	1	4.149,00	4.149,00	13%
Suporte p/Módulos	22	250,00	5.500,00	17%
String Box	1	752,00	752,00	2%
Diversos	1	1.000,00	1.000,00	3%
Instalação (Mão de Obra)	1	5.272,20	5.272,20	17%
Total			31.633,20	100%

Fonte: Os próprios autores (2018)

**Tabela 3.** Parâmetros para Simulação

Parâmetros	Mínimo	Mais provável	Máximo
Vida Útil (anos)	20	22	25
Taxa de Atratividade	6,50%	10,00%	12,00%
Preço (R\$/Wp)	6,00		9,00
Energia não desperdiçada (kWh/ano)	6.409,20	6.409,20	6.409,20
Tarifa com encargos (R\$/kWh)	0,77	-	0,85
Manutenção (OPEX) - % do CAPEX	0,00500	0,00550	0,00600

Fonte: Os próprios autores (2018)



Este estudo mostrou que o sistema fotovoltaico dimensionado tem uma probabilidade de 53,2% de retornar com um VPL acima de zero e, portanto, uma discreta viabilidade econômica.

Como recomendações para trabalhos futuros, sugerimos a aplicação do cálculo de risco ao estudo pertinente, bem como agregar outros métodos de tomada de decisão e ampliar os parâmetros relativos nesta área de estudo que são impactadas pela evolução tecnológica e da regulação, além de realizar comparativos com outras tecnologias.

## REFERÊNCIAS

- Andrade, H. M.; Silveira, D. M. C. (2018), "Inserção das energias sustentáveis na perspectiva regulatória para a geração distribuída no Brasil," XXV SIMPEP - Simposio de Engenharia de Produção, Bauru, SP, 07-09 de Novembro de 2018.
- Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2017), Regulação do Setor Elétrico - ANEEL. Available at: <http://www.aneel.gov.br/regulacao-do-setor-eletrico> (Accessed: July 4, 2018).
- Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2016), Micro e Minigeração Distribuída; Sistema de Compensação de Energia Elétrica, 2ª ed., ANEEL, Brasília.
- Brandalise, N.; Cardoso, R. (2010), "Análise de risco em estudo de viabilidade econômico- o comércio de água mineral", XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, São Carlos, SP, 12-15 out. 2010.
- Dranka, G. G.; Ferreira, P. (2018), "Planning for a renewable future in the Brazilian power system", Energy, Vol. 164, pp. 496–511.
- Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2017), Balanço Energético Nacional 2017, EPE, Brasília.
- Facci, A. L.; Krastev, V.; Falcucci, G. et al. (2018) "Smart integration of photovoltaic production, heat pump and thermal energy storage in residential applications", Solar Energy, Vol. 192, pp. 131-143.
- Lammoglia, J. A. M.; Brandalise, N. (2018), "Analysis of economic and financial viability with the use of Monte Carlo Simulation for microgeneration," XXV SIMPEP - Simposio de Engenharia de Produção, Bauru, SP, 07-09 nov 2018.
- Lang, T.; Gloerfeld, E.; Girod, B. (2015), "Don't just follow the sun - A global assessment of economic performance for residential building photovoltaics," Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp. 932–951. DOI: 10.1016/j.rser.2014.10.077.
- Marchi, C.; Bohana, M.; Fernandez, J. (2018), "Environmental management in solid waste: sustainable construction and eco-efficiency," Sistemas & Gestão, Vol. 13, No. 1, pp. 118–129. DOI: 10.20985/1980-5160.2018.v13n1.1319.
- Medina, D. S.; Santana, F. S.; Oliveira, R. S. V. et al. (2015), "Utilização das técnicas tir e vpl como análise de investimento: um estudo de caso numa empresa do ramo de autopeças" III Congresso de Administração do Sul de Mato Grosso – CONASUM, Rondonópolis, MT, 8-10 de Dezembro, 2015. pp. 1–20.
- Pillot, B.; Siqueira, S.; Dias, J. B. (2018), "Grid parity analysis of distributed PV generation using Monte Carlo approach: The Brazilian case" Renewable Energy, Vol. 127, pp. 974–988. DOI: 10.1016/j.renene.2018.05.032.
- Samanez, C. P. (2010), Matemática Financeira, 5ª ed., Pearson, São Paulo.
- Sampaio, P.; González, M. (2017), "Photovoltaic solar energy : Conceptual framework", Vol. 74(March), pp. 590–601.
- Solano, J. C; Brito, M. C. (2018), "Impact of fixed charges on the viability of self-consumption photovoltaics", Energy policy, Vol. 122, pp. 322–331.
- Solargis (2018), "Potencial de Energia Fotovoltaica", Available at: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/world>
- United Nations (2017), World Population Prospects: The 2017 Revision, United Nations.
- Gomes, P. V.; Knak Neto, N. Carvalho, L. et al. (2018) "Technical-economic analysis for the integration of PV systems in Brazil considering policy and regulatory issues," Energy Policy, 115, pp. 199–206. DOI: 10.1016/j.enpol.2018.01.014.
- Villalva, M. G.; Gazoli, J. R.; Ruppert Filho, E. (2009), "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 24, No. 5, pp. 1198–1208.
- Zeb, K.; Uddin, W.; Khan, M. H. et al. (2018), "A comprehensive review on inverter topologies and control strategies for grid connected photovoltaic system", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 94, pp. 1120–1141. DOI: 10.1016/j.rser.2018.06.053.

**Recebido:** 28 nov. 2018

**Aprovado:** 18 nov. 2019

**DOI:** 10.20985/1980-5160.2019.v14n4.1489

**Como citar:** Andrade, H. M.; Brandalise, N. (2019), "Análise de viabilidade econômico-financeira, pelo método de Monte Carlo, de um sistema fotovoltaico para geração distribuída", Sistemas & Gestão, Vol. 14, No. 4, pp. 348-355, disponível em: <http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/view/1489> (acesso dia mês abreviado. ano).