

# MÉTODO DE CÁLCULO DE RETORNO DE INVESTIMENTO EM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA CONSIDERANDO FLUXOS DE CAIXA E DE CRÉDITOS DE ENERGIA MENSAIS

**Alexandre de Albuquerque Montenegro** (UFSC) - alexandre.a.montenegro@gmail.com

**Ricardo Rüther** (Instituição - a informar) - ricardo.ruther@ufsc.br

## **Resumo:**

*Este trabalho apresenta premissas básicas que devem ser avaliadas no cálculo de retorno de investimento, com fluxo de caixa mensal, de um sistema de micro geração distribuída (GD) fotovoltaica (FV) (até 75 kWp) instalado na própria unidade consumidora (UC) que irá utilizar a energia gerada pelo sistema, destaca a importância da análise de créditos FV acumulados ao longo do período de análise do investimento e apresenta resultados de análise de investimento em sistemas GD-FV com 1 kWp instalados nas 27 capitais brasileiras. É demonstrado que ao se dimensionar um sistema GD-FV considerando igualar o consumo anual com a geração FV anual, gera-se um crédito de energia que provavelmente não será compensado em tempo hábil, além de levar a redução do retorno do investimento. São apresentados também resultados que demonstram que micro-GD-FV é um excelente investimento para o consumidor residencial no Brasil, se for corretamente dimensionado.*

**Palavras-chave:** *Geração Distribuída, Sistemas Fotovoltaicos, Análise de Retorno de Investimento.*

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

**Subárea temática:** *Estratégias e políticas para energias renováveis*

# MÉTODO DE CÁLCULO DE RETORNO DE INVESTIMENTO EM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA CONSIDERANDO FLUXOS DE CAIXA E DE CRÉDITOS DE ENERGIA MENSAIS

Alexandre de Albuquerque Montenegro – [alexandre.a.montenegro@gmail.com](mailto:alexandre.a.montenegro@gmail.com)

Ricardo Rütther – [ricardo.ruther@ufsc.br](mailto:ricardo.ruther@ufsc.br)

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil

**Resumo.** Este trabalho apresenta premissas básicas que devem ser avaliadas no cálculo de retorno de investimento, com fluxo de caixa mensal, de um sistema de micro geração distribuída (GD) fotovoltaica (FV) (até 75 kWp) instalado na própria unidade consumidora (UC) que irá utilizar a energia gerada pelo sistema, destaca a importância da análise de créditos FV acumulados ao longo do período de análise do investimento e apresenta resultados de análise de investimento em sistemas GD-FV com 1 kWp instalados nas 27 capitais brasileiras. É demonstrado que ao se dimensionar um sistema GD-FV considerando igualar o consumo anual com a geração FV anual, gera-se um crédito de energia que provavelmente não será compensado em tempo hábil, além de levar a redução do retorno do investimento. São apresentados também resultados que demonstram que micro-GD-FV é um excelente investimento para o consumidor residencial no Brasil, se for corretamente dimensionado.

**Palavras-chave:** Geração Distribuída, Sistemas Fotovoltaicos, Análise de Retorno de Investimento.

## 1 INTRODUÇÃO

Desde que passou a vigorar a regulamentação atual para Geração Distribuída (GD) Fotovoltaica (FV) no Brasil, através da Resolução Normativa 687/2015 (ANEEL, 2015) que atualizou a Resolução Normativa 482/2012 (ANEEL, 2012), o Centro de Pesquisa e Capacitação em Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (Laboratório Fotovoltaica-UFSC) tem avaliado diversas propostas de venda de sistemas GD-FV, emitidas por empresas integradoras que atuam no Brasil, nas quais estão incluídas análises de retorno de investimento desses sistemas. Tais propostas são recebidas: (i) em licitações/consultas para compra de sistemas GD-FV previstos no escopo de projetos de P&D desenvolvidos pelo Laboratório Fotovoltaica-UFSC, (ii) por engenheiros e arquitetos que cursam disciplinas de pós-graduação na área de tecnologia solar fotovoltaica na UFSC, quando da análise de projetos nos quais tais alunos estão envolvidos ou (iii) em consultas feitas diretamente a empresas integradoras para fins diversos.

No entanto, nessas análises de retorno de investimento há com frequência erros de método de cálculo que têm feito que os resultados apresentados nas propostas das empresas integradoras muitas vezes não correspondam a boas estimativas quanto ao retorno de investimento que o cliente que adquirir esses sistemas GD-FV efetivamente terá.

Esse artigo tem por objetivos: (i) apresentar premissas básicas que devem ser avaliadas no cálculo de retorno de investimento, com fluxo de caixa mensal, de um sistema micro GD-FV (até 75 kWp) instalado na própria unidade consumidora (UC) que irá utilizar a energia gerada pelo sistema, (ii) destacar a importância da análise de créditos FV acumulados ao longo do período de análise do investimento e (iii) apresentar resultados de análise de investimento em sistemas GD-FV com 1 kWp instalados nas 27 capitais brasileiras.

## 2 MÉTODO

O método aqui apresentado é baseado no que foi proposto na dissertação de mestrado “Avaliação do retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos integrados a residências unifamiliares urbanas no Brasil” (Montenegro, 2013), com atualizações de premissas (Montenegro, Antonioli e Rütther, 2019) e com considerações de cálculo complementares, que são explicadas nos itens a seguir.

### 2.1 Premissas básicas

As premissas básicas a seguir foram adotadas nesse método proposto, para as análises de retorno de investimento de um sistema micro GD-FV (até 75 kWp) instalado na própria unidade consumidora (UC) que irá utilizar a energia gerada pelo sistema. Tais premissas são abordadas de forma detalhada no método proposto por Montenegro (2013).

- Potência instalada (kWp) do sistema GD-FV: no próximo tópico serão feitas considerações a respeito da definição da potência adequada para o sistema GD-FV a ser instalado junto à UC considerada.
- Redução anual do rendimento do sistema GD-FV: 0,5% ao ano, típico para o Brasil (Viana *et al.*, 2012).

- c) Investimento inicial (R\$): é o preço total “chave-na-mão” do sistema GD-FV, informado em orçamento atual fornecido por integrador ou estimado a partir dos valores disponíveis em relatórios de mercado FV no Brasil como o “Estudo Estratégico: Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída” (Greener, 2019).
- d) Fluxo de caixa mensal para análise de despesas e receitas.
- e) TMA (Taxa Mínima de Atratividade): sugere-se utilizar a SELIC anual (BCB, 2019). O valor mais recente (dez/2019) é 4,90% ao ano.
- f) Custos anuais de O&M: 1% x investimento inicial, ao ano.
- g) Custos de reposição: custos de substituição dos inversores a cada 10 anos. Atualmente (dez/2019) uma equivale a 30% do investimento inicial, a cada 10 anos.
- h) Vida útil do sistema GD-FV (período considerado para análise de investimento): 25 anos.
- i) Tipo de UC junto à qual será instalado o sistema GD-FV: residencial (excluindo baixa renda), com conexão trifásica.
- j) Consumo total mensal no primeiro ano de operação do sistema GD-FV: estimado a partir do histórico de consumo dos 12 últimos meses da UC junto à qual o sistema GD-FV será instalado (ou estimado a partir das cargas e de levantamento do consumo esperado ao longo do ano, caso seja uma nova UC).
- k) Aumento anual de consumo: avaliar se deverá ser considerada alguma taxa de aumento (ou redução) do consumo ao longo do tempo, ou se será mantido o perfil de consumo dos primeiros 12 meses para todo o tempo de análise de retorno do investimento.
- l) Tarifa de energia aplicada no primeiro ano de operação do sistema GD-FV: tarifa atual B1, incluindo impostos (os custos da bandeira tarifária não são considerados nesta avaliação de investimento).
- m) Aumento médio anual da tarifa residencial: estimado a partir do histórico de aumento da tarifa nos últimos anos. Atualmente, sugere-se 4% ao ano (valor conservador), conforme análises apresentadas por Montenegro, Antonioli e Rüter (2019).
- n) Custo mensal de disponibilidade (cobrança mínima na conta de luz, mesmo que não haja consumo a pagar) (ANEEL, 2010): para o consumidor residencial trifásico, corresponde ao valor equivalente a um consumo mensal de 100 kWh (ou seja, se o consumo for inferior a 100 kWh, o consumidor deverá pagar por um consumo de 100 kWh).
- o) Irradiação solar mensal (kWh/m<sup>2</sup>.mês) ao longo do ano: estimada a partir dos dados médios de irradiação solar total mensal incidente sobre o plano dos módulos FV conforme o projeto específico do sistema GD-FV a ser avaliado, calculada através do software Radiasol (Labsol-UFRGS, 2019) ou similar, com base nos dados disponibilizados no “Atlas Brasileiro de Energia Solar 2ª Edição” (Pereira *et al.*, 2017). Alternativamente, caso seja somente uma estimativa preliminar, sem que se tenha o projeto com a disposição/inclinação/orientação dos módulos FV a serem instalados, nem a análise do sombreamento, pode-se utilizar os dados de irradiação solar total mensal incidente sobre um plano com inclinação igual à latitude local e voltado para o norte verdadeiro, com dados coletados no mesmo Atlas mencionado anteriormente.
- p) Taxa de desempenho (*Performance Ratio*, PR) (Marion *et al.*, 2005): caso haja um projeto com a disposição/inclinação/orientação dos módulos FV a serem instalados, recomenda-se estimar o valor do PR através do software PVsyst (PVsyst, 2019). Caso não seja viável, recomenda-se utilizar PR de 80% para as simulações – este é um valor conservador, uma vez que foi verificado um PR de até 90% para sistemas FV instalados a partir de 2010 (Fraunhofer ISE e PSE AG, 2018; Reich *et al.*, 2012; Thevenard e Pelland, 2013).
- q) Produtividade (*Yield*) mensal (kWh/kWp.mês) (Marion *et al.*, 2005): é numericamente igual à multiplicação de PR pela irradiação solar mensal que foi considerada como incidente no plano dos módulos FV.
- r) Conforme REN 482/2012, Art. 7o, inciso V: “quando o crédito de energia acumulado em ciclos de faturamentos anteriores for utilizado para compensar o consumo, não se deve debitar do saldo atual o montante de energia equivalente ao custo de disponibilidade, aplicado aos consumidores do grupo B; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)”.

Considerando as premissas básicas indicadas neste item, pode-se elaborar um fluxo de caixa mensal, e levantar valores de Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e tempo de retorno do investimento (*payback time*). Este artigo não tem por objetivo apresentar detalhadamente esses cálculos, que já se encontram detalhados em Montenegro (2013), mas sim atualizar algumas premissas.

Serão apresentadas estimativas de retorno de investimento para as 27 capitais brasileiras, seguindo as premissas anteriores e considerando:

- a) Consumo mensal da UC constante ao longo do mesmo ano e ao longo dos anos: 250 kWh/mês.
- b) Tarifa B1 em vigor em jul/2019 para todas as capitais, considerando impostos.
- c) Taxa de aumento anual da tarifa de energia elétrica: 4%.
- d) Irradiação mensal incidente sobre módulos voltados para o Norte e com inclinação igual à latitude local.
- e) Potência instalada: 1 kWp (foi avaliado que com esta potência, em nenhum mês, e para nenhuma capital, o consumo líquido será inferior ao custo de disponibilidade de 100 kWh, considerando a irradiação e consumo mensais aqui colocados).
- f) Taxa de produtividade (PR): 80%.
- g) Investimento inicial: R\$ 5.000.

## 2.2 Definição da potência adequada para o sistema GD-FV a ser instalado junto à UC considerada

É bastante comum que seja utilizada a Eq. (1) para determinação da potência ideal para atender 100% do consumo da UC.

$$Pot_{FV} = \frac{Consumo_{ano}}{Produtividade_{ano}} \quad (1)$$

Onde:

Pot<sub>FV</sub> [kWp] = potência do sistema GD-FV que atende 100% do consumo da UC, na base anual.

Consumo<sub>ano</sub> [kWh/ano] = consumo anual considerado para a UC.

Produtividade<sub>ano</sub> [kWh/kWp-ano] = produtividade (*Yield*) do sistema GD-FV na base anual (Marion *et al.*, 2005).

No entanto, essa análise desconsidera o impacto do custo de disponibilidade sobre a fatura a ser paga, e não considera também como ficará o crédito de energia junto à concessionária ao final de cada ano.

## 3 RESULTADOS E CONCLUSÕES

Na Tab. 1 é apresentada uma simulação do fluxo de créditos de energia elétrica numa UC com GD-FV, caso a potência seja calculada pela Eq. (1), considerando uma Produtividade<sub>ano</sub> de 1.200 kWh/kWp-ano e um Consumo<sub>ano</sub> de 3.000 kWh/ano, o que leva a um valor de Pot<sub>FV</sub> de 2,5 kWp. Essa simulação está sendo feita considerando valores de geração e de consumo para o primeiro ano. Foi considerado também que: (i) sempre que a geração FV mensal for menor que o consumo bruto mensal, toda a geração FV mensal foi consumida simultaneamente ao consumo (ou seja, não foi injetada na rede nada da geração FV mensal), e (ii) sempre que a geração FV mensal for maior que o consumo bruto mensal, todo o consumo bruto mensal foi atendido simultaneamente à geração FV mensal (ou seja, só foi injetada na rede o excedente mensal da geração FV). Com essas considerações, estão sendo minimizados os valores de crédito FV que serão utilizados em meses posteriores. Caso fossem considerados perfis de consumo e geração mais realísticos, os valores de créditos FV a serem compensados em meses posteriores seriam bem superiores.

Tabela 1 - Simulação do fluxo de créditos de energia elétrica numa UC com GD-FV, caso a potência seja calculada pela Eq. (1), considerando uma Produtividade<sub>ano</sub> de 1.200 kWh/kWp-ano e um Consumo<sub>ano</sub> de 3.000 kWh/ano, o que leva a um valor de Pot<sub>FV</sub> de 2,5 kWp.

mês	Geração FV mensal (kWh)	Consumo bruto mensal (kWh)	Consumo líquido mensal sem considerar uso de créditos FV acumulados (kWh)	Crédito de energia gerado no mês, a ser compensado em meses posteriores (kWh)	Crédito acumulado disponível no início do mês (kWh)	Máximo de crédito acumulado que poderia ser compensado neste mês, caso tal crédito acumulado estivesse disponível (kWh)	Crédito de energia de fato compensado no mês (kWh)	Crédito acumulado disponível no fim do mês (kWh)	Consumo líquido mensal considerando uso de créditos FV acumulados (kWh)	Total de energia elétrica a ser pago (kWh)
JAN	289	400	111	0	0	0	0	0	111	111
FEV	258	430	172	0	0	72	0	0	172	172
MAR	275	280	5	0	0	0	0	0	5	100
ABR	240	200	-40	40	0	0	0	40	0	100
MAI	222	180	-42	42	40	0	0	82	0	100
JUN	191	150	-41	41	82	0	0	123	0	100
JUL	193	125	-68	68	123	0	0	191	0	100
AGO	226	205	-21	21	191	0	0	212	0	100
SET	222	195	-27	27	212	0	0	239	0	100
OUT	281	210	-71	71	239	0	0	310	0	100
NOV	307	280	-27	27	310	0	0	337	0	100
DEZ	296	345	49	0	337	0	0	337	49	100
<b>TOTAIS ANUAIS</b>	<b>3.000</b>	<b>3.000</b>	<b>0</b>						<b>337</b>	<b>1.283</b>

Conforme mostra a Tab. 1, o dimensionamento feito pelo cálculo indicado na Eq. (1) gera um crédito FV acumulado de 337 kWh ao fim do primeiro ano. Caso seja mantido o padrão de consumo e de geração na base anual, a expectativa é de que os créditos acumulados não sejam compensados em tempo hábil. Além disso, deve-se reforçar que as considerações feitas quanto total mensal de consumo simultâneo à geração FV foram extremamente otimistas. Num caso real, o total de créditos FV acumulados disponíveis no fim do ano teria um valor bastante superior.

Tendo sido isso posto, nota-se que quando do dimensionamento da potência de um sistema GD-FV que pretende atender ao máximo do consumo de uma UC deve ser feita uma simulação como a apresentada na Tab. 1, ao longo do período de análise do investimento, para evitar perda de créditos FV, o que reduziria a atratividade do investimento.

A Tab. 2 mostra os resultados obtidos na avaliação do investimento em sistemas GD-FV com 1 kWp para as 27 capitais brasileiras, considerando os valores e especificações mencionados no método. Comparando esses resultados com os obtidos nas análises de investimento de maio/2013 (Montenegro, 2013), o VPL para investimento em sistemas de micro-GD-FV nas capitais brasileiras teve um aumento variando de 326% (Macapá-AP) a 11.553% (Porto Velho - RO) em pouco mais de seis anos! O aumento médio do VPL entre as capitais foi de 1.504% no mesmo período. Os valores apresentados na Tab. 2 demonstram que micro-GD-FV é um excelente investimento para o consumidor residencial no Brasil, se for corretamente dimensionado.

Tabela 2 - VPL, TIR e tempo de retorno para investimento em sistema GD-FV com 1 kWp para as 27 capitais brasileiras.

Capital	Estado	VPL (R\$/kWp)	TIR (% ao ano)	Tempo de retorno do investimento (anos)
Aracaju	SE	17.244	31,8%	4,3
Belém	PA	22.932	40,0%	3,5
Belo Horizonte	MG	21.464	38,1%	3,7
Boa Vista	RR	14.770	28,3%	5,0
Brasília	DF	15.461	29,2%	4,8
Campo Grande	MS	17.324	31,9%	4,3
Cuiabá	MT	18.813	33,9%	4,1
Curitiba	PR	12.628	25,3%	5,7
Florianópolis	SC	11.151	23,2%	6,2
Fortaleza	CE	17.313	31,9%	4,4
Goiânia	GO	19.000	34,3%	4,1
João Pessoa	PB	18.905	34,3%	4,1
Macapá	AP	9.985	21,5%	6,8
Maceió	AL	19.707	35,3%	3,9
Manaus	AM	15.361	29,1%	4,8
Natal	RN	13.505	26,5%	5,3
Palmas	TO	18.687	33,9%	4,1
Porto Alegre	RS	13.134	26,0%	5,4
Porto Velho	RO	12.691	25,3%	5,6
Recife	PE	17.026	31,5%	4,4
Rio Branco	AC	15.462	29,5%	4,8
Rio de Janeiro	RJ	15.053	28,8%	4,9
Salvador	BA	17.410	32,1%	4,3
São Luís	MA	17.241	31,7%	4,4
São Paulo	SP	15.726	29,4%	4,8
Teresina	PI	17.331	32,5%	4,3
Vitória	ES	15.217	29,0%	4,8

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio do CNPq através de bolsas do financiamento da infraestrutura do Laboratório Fotovoltaica-UFSC, que garantem o desenvolvimento desta e de diversas outras pesquisas desenvolvidas pela equipe desse laboratório.

## REFERÊNCIAS

- ANEEL. Resolução Normativa 414/2010. 2010.
- \_\_\_\_\_. Resolução Normativa 482/2012. 2012.
- \_\_\_\_\_. Resolução Normativa 687/2015. 2015.
- BCB. **Mercados financeiros e de capitais / Indicadores do mercado financeiro / Taxa de juros / Selic anualizada base 252**. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/sgspub/localizarseries/localizarSeries.do?method=prepararTelaLocalizarSeries>>. Acesso em: 30 nov. 2019.
- FRAUNHOFER ISE; PSE AG. Photovoltaics Report 2018. n. February, p. 45, 2018.
- GREENER. **Estudo Estratégico: Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída - 2o trimestre de 2019**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/pesquisas-de-mercado/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-de-geracao-distribuida-2o-trimestre-de-2019/>>.
- LABSOL-UFRGS. **Software Radiasol**. Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>>. Acesso em: 30 nov. 2019.
- MARION, B. *et al.* Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems. **NREL - National Renewable Energy Laboratory**, n. February, 2005.
- MONTENEGRO, A. A. Avaliação do retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos integrados a residências unifamiliares urbanas no Brasil [Dissertação]. **UFSC**, p. 177, 2013.
- MONTENEGRO, A. A.; ANTONIOLLI, A. F.; RÜTHER, R. **Photovoltaic Distributed Generation in Brazil: Investment Valuation for the 27 Capital Cities** SWC2019 - Solar World Congress 2019. **Anais...** Santiago, Chile: 2019
- PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar 2ª Edição**. São José dos Campos - SP: [s.n.]. Disponível em: <[http://labren.ccst.inpe.br/atlas\\_2017.html](http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html)>.
- PVSYST. **Software PVsyst**. Disponível em: <<https://www.pvsyst.com/features/>>. Acesso em: 30 nov. 2019.
- REICH, N. H. *et al.* Performance ratio revisited: is PR 90% realistic? **Progress in Photovoltaics**, n. January, p. 717–726, 2012.
- THEVENARD, D.; PELLAND, S. Estimating the uncertainty in long-term photovoltaic yield predictions. **Solar Energy**, v. 91, p. 432–445, maio 2013.
- VIANA, T. S. *et al.* Sistema fotovoltaico de 2 kWp integrado a edificação: análise do desempenho de 14 anos de operação. **IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-Americana da ISES**, n. 1997, p. 6, 2012.

## METHOD OF INVESTMENT ANALYSIS IN PHOTOVOLTAIC DISTRIBUTED GENERATION CONSIDERING MONTHLY CASH FLOWS AND MONTHLY CREDIT FLOWS

**Abstract.** *This paper presents basic assumptions that should be evaluated in the calculation of monthly cash flow return on investment of a photovoltaic (PV) distributed generation (DG) system (up to 75 kWp) installed in the consumer unit that will use the energy generated by the system, underlines the importance of the analysis of PV credits accumulated over the investment analysis period and presents investment analysis results on 1 kWp PV-DG systems installed in the 27 Brazilian capital cities. It is shown that by sizing a PV-DG system considering equating annual consumption with annual PV generation, it generates an energy credit that is unlikely to be compensated in a timely manner, leading to reduced return on investment. Results are also presented that demonstrate that micro-PV-DG is an excellent investment for the residential consumer in Brazil, if properly sized.*

**Keywords:** *Distributed Generation, Photovoltaic Systems, Investment Analysis*