

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTVOLTAICO CONECTADO A REDE ELÉTRICA DE MÉDIA TENSÃO

ZAUZA, Silvana^{1*}; DANIELSSON, Gabriel Henrique²; KREIN, Natália³
RODRIGUES, Mauro Fonseca⁴

¹ UNIJUÍ, Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Campus Santa Rosa, Rodovia RS 344, KM 39, Nº 1100, Bairro Timbaúva, Santa Rosa, RS, Brasil.

² UNIJUÍ, Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Campus Santa Rosa, Rodovia RS 344, KM 39, Nº 1100, Bairro Timbaúva, Santa Rosa, RS, Brasil.

³ UNIJUÍ, Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Campus Santa Rosa, Rodovia RS 344, KM 39, Nº 1100, Bairro Timbaúva, Santa Rosa, RS, Brasil.

⁴ UNIJUÍ, Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Campus Santa Rosa, Rodovia RS 344, KM 39, Nº 1100, Bairro Timbaúva, Santa Rosa, RS, Brasil.

*Autor Correspondente: silvana.zauza@gmail.com

RESUMO

A avaliação econômica do investimento é uma ferramenta que pode sinalizar, ao investidor, o que fazer com seus recursos antes de aplicá-los. Nesse aspecto, suas técnicas e métodos, como a TIR e payback, podem auxiliar na tomada de decisão. Esse trabalho tem por objetivo o estudo de caso para instalação de células fotovoltaicas em uma edificação urbana conectada em uma rede de média tensão, através de pesquisa teórica e do dimensionamento dos materiais necessários, baseados no consumo atual de energia elétrica, demonstrando a viabilidade técnica de instalação desse sistema de geração de energia elétrica e analisando o retorno financeiro do investimento efetuado.

Palavras chave: Energia fotovoltaica, Geração distribuída, Engenharia econômica.

Analysis of the economic viability of a photovoltaic system connected to the medium voltage electrical network

ABSTRACT

The economic valuation of the investment is a tool that can signal to the investor what to do with their resources before applying them. In this respect, its techniques and methods, such as IRR and payback, can aid in decision making. The objective of this work is the case study for the installation of photovoltaic cells in an urban building connected in a medium voltage network, through theoretical research and sizes of the necessary materials, based on the current consumption of electric energy, demonstrating the technical feasibility of installation of this electricity generation system and analyzing the financial return of the investment made.

Keywords: Photovoltaic power generation, Distributed generation, Economics engineering.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, cerca de setenta e um por cento da oferta total de energia elétrica é proveniente de grandes centrais hidrelétricas distantes dos grandes centros de consumo. O restante desta oferta é obtido, em grande parte, através de combustíveis fósseis (FARRET, 2014).

Pode-se destacar também a importância da microgeração distribuída para o SEP (Sistema Elétrico de Potência) como uma fonte de energia complementar, sendo que os SFCRs (Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede) aumentam a diversidade das fontes de geração em momentos que outras fontes de energia não conseguem suprir a demanda, e também reduzem a dependência das fontes poluentes, diminuindo a emissão de CO₂ na atmosfera, pois se trata de uma fonte de energia renovável.

As principais justificativas para a implantação de um sistema de Geração Distribuída são: a contribuição com o sistema elétrico, a redução do custo com a tarifa de energia e diminuição dos impactos ambientais. Desde que entrou em vigência pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a Resolução Normativa (RN) nº 687, de 24 de novembro de 2015, possibilitou ao consumidor gerar energia elétrica e fornecer o excedente à rede de distribuição. Para que se tenha o resultado economicamente positivo, neste estudo será dimensionado um sistema de geração visando reduzir os gastos com a fatura de energia elétrica da concessionária de forma a saldar o investimento.

2 DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

A pesquisa e o desenvolvimento da abordagem decorrem no campo de geração de energia elétrica renovável, baseando-se no estudo da viabilidade econômica da energia solar fotovoltaica aplicada a uma edificação urbana conectada em média tensão.

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1.1 Energia solar fotovoltaica

O Brasil é privilegiado no seu potencial energético solar e seu potencial é maior que a maioria dos países do primeiro mundo e são amplas as possibilidades de aproveitamento energético do sol, destacando-se o térmico e o fotovoltaico (FARRET, 2014). O autor ainda salienta que, sobre o ponto de vista do aproveitamento energético, o Sol é considerado uma fonte silenciosa, gratuita e não poluente, além de ser responsável por todas as formas de vida no planeta. A principal tecnologia existente para conversão dessa energia, irradiada em forma de luz para a Terra, em eletricidade, é realizada por meio de células que compõem os módulos fotovoltaicos. A inexistência de partes móveis, a lentidão da degradação das células fotovoltaicas seladas, a flexibilidade na formação e associação dos módulos, a simplicidade no uso e na manutenção tornam os painéis fotovoltaicos mais atrativos a cada ano.

Farret (2014) explica que quando um elétron se movimenta de uma faixa para outra, ele deixa no seu lugar uma lacuna, que é considerada uma carga positiva. Se um semicondutor carregado se unir com um semicondutor com excesso de carga negativa, ocorrerá uma junção PN. Nas células fotovoltaicas feitas de silício cristalino, o campo elétrico tem sua origem por um processo de contaminação controlada e selecionada do material semicondutor. Os elétrons e suas lacunas contribuirão para a geração de corrente elétrica proporcional à iluminação e, devido à presença do campo elétrico formado, as partículas se movimentam em sentido contrário umas das outras.

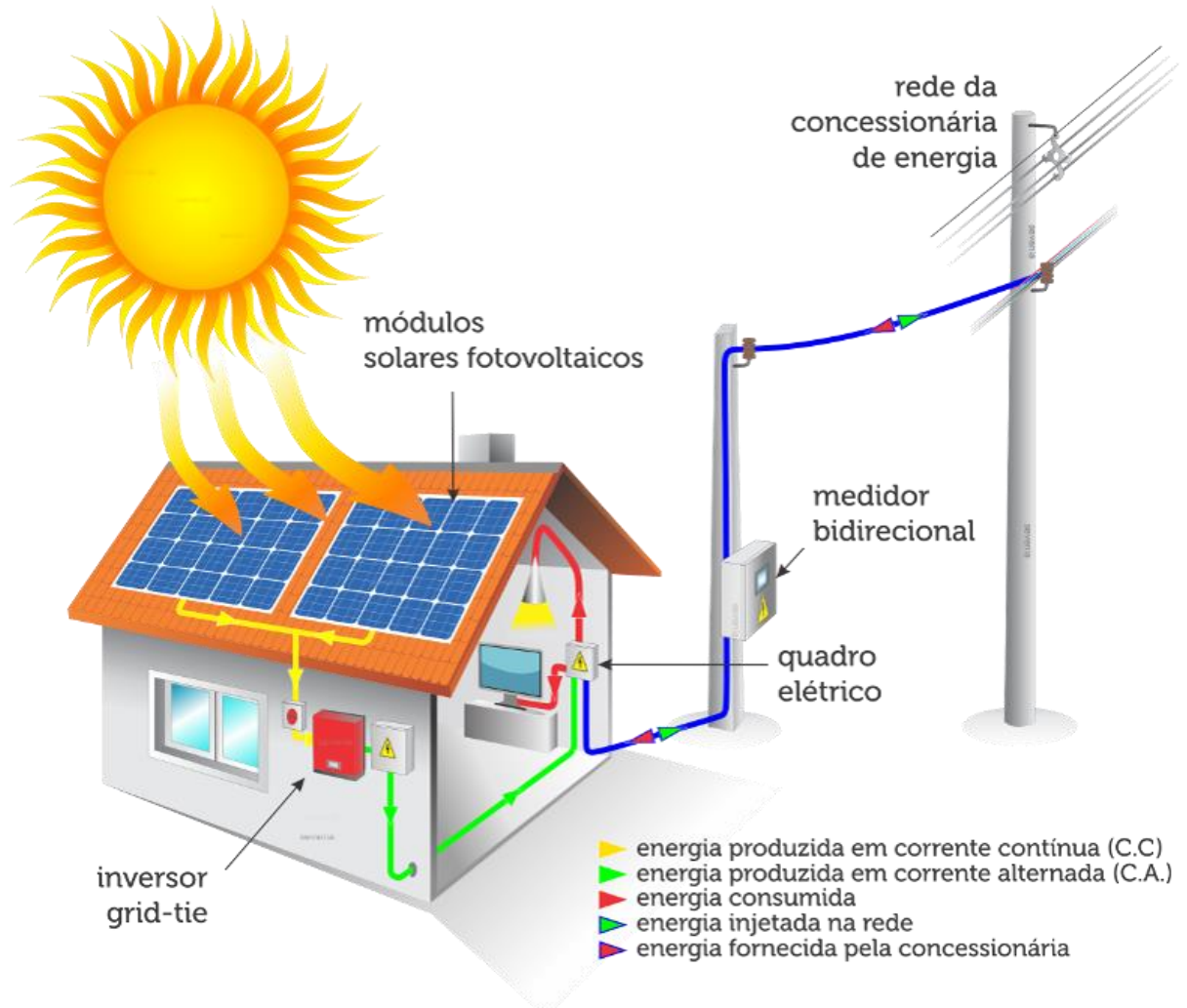
Quando a luz incide sobre uma célula fotovoltaica, os fótons que a integram se chocam contra os elétrons presentes nas estruturas de silício, fornecendo-lhes energia. Devido ao campo elétrico gerado no interior de cada célula, os elétrons são forçados a fluir da camada P para a camada N, gerando-se assim um fluxo de elétrons. (MILKE, RODRIGUES, 2016). Os sistemas fotovoltaicos têm a capacidade de captar diretamente a luz solar e produzir corrente elétrica. Essa corrente é coletada e processada por dispositivos controladores e

conversores, que pode ser armazenada em baterias ou utilizada diretamente em sistemas conectados à rede elétrica.

Segundo Braga (2008) um sistema fotovoltaico possui vários componentes que são utilizados para sua instalação e conexão junto à rede elétrica. Esses equipamentos necessários variam dependendo da aplicação e das características das cargas a serem alimentadas.

Em geral um sistema fotovoltaico de energia é composto por um ou mais módulos e por um conjunto de equipamentos complementares, como baterias, controladores de carga, inversores e outros equipamentos de proteção. Na figura 1 pode-se observar um sistema fotovoltaico instalado em uma edificação.

Figura 1 - Sistema de geração de energia solar fotovoltaica



Fonte: (GREENBRAS, 2018)

Segundo Farret (2014) os módulos fotovoltaicos são dispositivos que transformam energia solar em elétrica de corrente contínua. O tipo mais conhecido comercialmente é o composto por células de silício monocristalino. Este é protegido por vidro temperado e

antirreflexo e por um material sintético especial. O número de módulos a serem utilizados em um sistema é determinado pelas necessidades de consumo de energia elétrica.

Braga (2008) explana que os inversores também conhecidos como conversores são os equipamentos que realizam conversão da energia elétrica de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA); podem ser utilizados para alimentar cargas isoladas e também para interligar um gerador fotovoltaico à rede elétrica. Sua principal função em um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica é transformar a CC em CA.

2.1.2 Geração Distribuída

A Geração Distribuída (GD) é formada por um conjunto de pequenas fontes geradoras próximas às cargas, inseridas no SEP após a Resolução da Aneel 482/2012. Segundo Reis (2013) esta é uma tendência associada a pequenos projetos de geração e cogeração. Turbinas a gás e biogás, sistemas eólicos e até usinas solares fotovoltaicas são suas bases e, com isso, ocorrerá o aumento do uso de fontes renováveis.

Como a geração estará conectada com o sistema de distribuição do SEP existente, podem-se conduzir análises de planejamento integrado, local e centralizado, de forma que ocorram melhorias no desempenho do sistema como um todo.

A GD, pela proximidade ao cliente consumidor, causa pouco impacto ambiental e pode levar à redução dos custos totais de investimentos em geração, em virtude da diminuição dos investimentos em transmissão e distribuição. Essa forma de gerar energia elétrica pode aumentar a confiabilidade e a qualidade do suprimento, atender a demanda de ponta, compor esquemas de cogeração ou até atender áreas remotas com baixa densidade de carga, pode gerar autossuficiência para o investidor e oportunidade de venda de excedentes de energia, (REIS, 2013).

Conforme Aneel (2017) cabe ao consumidor a iniciativa de instalação de micro ou minigeração distribuída, a Aneel não estabelece o custo dos geradores e eventuais condições de financiamento, mas estabelece apenas compensação de energia. Ou seja, o usuário só poderá ter trocar energia gerada por consumida, sem venda direta. Assim, o consumidor deve analisar a relação custo benefício para usar esse recurso, com base em diversas variáveis: tipo da fonte de energia, tecnologia dos equipamentos, porte da unidade consumidora e da central geradora, localização (rural ou urbana), valor da tarifa que a unidade consumidora está submetida, condições de pagamento e/ou financiamento do projeto e existência de outras unidades consumidoras que possam usufruir dos créditos do sistema de compensação de energia elétrica.

A regulamentação que rege a GD atualmente é a Resolução Normativa n°687, de 24 de novembro de 2015 da ANEEL a mesma ainda informa que o sistema de compensação de energia elétrica é o sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa. Para fins de compensação, a energia ativa injetada no sistema pela unidade consumidora passa a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida em um prazo de 60 meses. Se os créditos de energia ativa expirarem o prazo de 60 meses após a data de faturamento, serão revertidos em prol da modicidade tarifária sem que o consumidor faça jus a qualquer forma de compensação após esse prazo.

Para realizar a solicitação de acesso para microgeração e minigeração distribuída deve-se preencher um Formulário de Solicitação de Acesso, que se encontra disponível na página de internet da distribuidora, onde contém a relação de informações que o acessante deve apresentar na solicitação de acesso.

2.1.3 Ferramentas de análise financeira

Conceitos referentes à área de Engenharia Econômica e Avaliações, são de grande relevância para a análise da viabilidade econômica do projeto de instalação de um Sistema Fotovoltaico. A mesma é responsável pela avaliação sistemática dos aspectos econômicos de soluções propostas para problemas de Engenharia, utiliza constantemente a matemática que trata do cálculo de juros, das equivalências de valores, da determinação de valores presentes e futuros (EHRLICH, 2014).

Esta área fornece métodos que permitem tomar decisões referentes à economia, como investimentos, comparações de alternativas, aquisição de equipamentos e sistemas, de forma a reduzir custos e potencializar benefícios para alguma organização. As decisões de investimentos são importantes para a empresa porque envolvem valores significativos e geralmente têm um alcance de longo prazo (EHRLICH, 2014). Neste trabalho serão utilizados os métodos a seguir.

- *Payback* ou Tempo de recuperação do Capital (PB): este método calcula o investimento total e a economia que o investimento proporcionará por ano. É utilizado para analisar o tempo que o benefício se iguala ao investimento.
- Valor Presente Líquido (VPL): determina o valor presente de uma série de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriada, menos o custo de

capital estipulado. Usado normalmente para análises de retorno de projetos ou valoração de empresas.

- Taxa Interna de Retorno (TIR): é a fórmula que calcula a taxa de desconto que teria um determinado fluxo de caixa para igualar a zero seu Valor Presente Líquido (VPL). Em outras palavras, ela mede a rentabilidade pela qual o capital está sendo remunerado em um determinado período de tempo, ou ainda, quanto maior a TIR, melhor e mais lucrativo será o projeto ou novo negócio. Também é utilizado para valoração de empresas ou análises de retorno de projetos.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Como método balizador da pesquisa foram utilizadas as normas emitidas pela Aneel para geração distribuída (RN-687 ANEEL, 2015) e os métodos apontados pela Engenharia Econômica para avaliação de investimentos (MIRANDA, 2014), também será levado em consideração na análise da viabilidade econômica, o custo da demanda contratada pela edificação.

Segundo Resolução Normativa 414 da Aneel (2010), a demanda contratada é a demanda de potência ativa disponibilizada obrigatoriamente, de forma contínua pela concessionária de energia no ponto de entrega do consumidor final. O custo da mesma fica definido conforme contrato de demanda realizado pelas partes interessadas, sendo que, no período de vigência do contrato de fornecimento, o valor fixado no contrato deverá ser pago integralmente, sendo ou não utilizada a energia contratada neste período de faturamento. O mesmo autor ainda informa que é possível aumentar ou diminuir a demanda contratada através de solicitação e análise junto à concessionária responsável pela distribuição local, observando os prazos e normas da Aneel.

A fim de atender o objetivo proposto, a busca pelos dados analisados se concentrou em informações divulgadas em relatórios técnicos, através de revisões bibliográficas, livros, trabalhos de conclusões de curso, teses de mestrados e informações obtidas através da Aneel.

2.2.1 Estudo de caso

O objetivo deste estudo de caso é analisar a viabilidade econômica para a implantação de um sistema de geração fotovoltaica distribuída, em uma edificação urbana localizada na cidade de Santa Rosa/RS, com a intenção de reduzir os gastos com a tarifa de energia elétrica da concessionária. Sendo que a Geração Distribuída estará incorporada ao SEP. Toda energia

gerada na instalação será injetada na rede elétrica da distribuidora local, gerando créditos para serem compensados nas faturas dos meses subsequentes.

Ao verificar as áreas disponíveis, observou-se que há espaço suficiente para instalação dos módulos fotovoltaicos dimensionados. Também foram analisados os valores da radiação solar e calculado qual a melhor inclinação e sua direção sendo que a inclinação é de 25° em direção ao Norte (EPE, 2012).

Para realizar os cálculos do dimensionamento do sistema, foram utilizados os dados da fatura de energia elétrica da edificação num período anual compreendido entre os meses de julho de 2015 a junho de 2016. A Tabela 1 mostra o consumo anual, ao qual foi tarifado pela RGE, na edificação em estudo.

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica

Meses	Consumo energia em kWh	Valor kWh consumido por mês (R\$)	Valor consumido menos taxa disponibilidade (R\$)	Consumo médio diário em kWh/dia	Número de dias/mês
jul/15	16.994	10.312,69861	8.152,498609	548,19	31
ago/15	18.831	11.427,47014	9.267,270137	607,45	31
set/15	18.676	11.333,40939	9.173,209393	622,53	30
out/15	22.632	13.734,08232	11.573,88232	730,06	31
nov/15	17.397	10.557,25654	8.397,056543	579,90	30
dez/15	17.050	10.346,68185	8.186,481846	550,00	31
jan/16	13.722	8.327,106644	6.166,906644	442,65	31
fev/16	20.430	12.397,81291	10.237,61291	704,48	29
mar/16	23.505	14.263,8567	12.103,6567	758,23	31
abr/16	23.650	14.351,84901	12.191,64901	788,33	30
mai/16	16.475	9.997,746827	7.837,546827	531,45	31
jun/16	18.755	11.381,35003	9.221,15003	625,17	30
Média	19.009,75		112.508,921	624,04	

Fonte (autoria própria)

Observando a Tabela 1, se verifica que são dados os números de dias de cada mês, servindo para calcular o consumo médio diário considerando cada um desses meses. Ainda nessa tabela verifica-se que o valor (R\$) gasto por mês é subtraído ao valor fixo da taxa de disponibilidade, que tem um custo de R\$ 10,04741935 e um contrato de disponibilidade de 215 kWh, então se realiza a soma do custo de todos os meses analisados, tem-se a economia anual, no valor de R\$ 112.508,921.

Durante pesquisas realizadas, foram verificados valores e aspectos técnicos dos módulos e inversores, sendo que o módulo escolhido para realização do cálculo foi o de silício policristalino (p-Si), da marca Canadian (modelo CS6P-270P), de potência máxima de

270 Wp, com valor individual de cada módulo de R\$ 850,00, variando de acordo com cada fornecedor.

O valor de 156,01 kWp corresponde à potência necessária para abater 100% da conta de energia elétrica fora do horário de ponta. Com o valor da potência fotovoltaica calculada e o valor individual de cada módulo, de 270 Wp, calculou-se o número de módulos necessário para o sistema, sendo necessários 578 módulos fotovoltaicos para atender a demanda da potência necessária de geração de 156,01 kWp.

O inversor escolhido foi o Fronius modelo Eco 27.0-3-S, trifásico de 27.000 W, sendo necessários seis inversores para atender a potência de 156,01 kW, o mesmo tem uma alta eficiência (98,3%). O custo individual de cada um é de R\$ 21.000,00, podendo sofrer alterações.

Com exceção dos painéis e inversores os outros componentes e serviços dos sistemas fotovoltaicos fazem parte do BoS (do inglês: *Balance of System*), que engloba estruturas mecânicas de sustentação, cabos, conectores, disjuntores, instalação, trabalhos administrativos, de engenharia, vendas, entre outros. O valor referente ao BoS, é da porcentagem de aproximadamente 30% do empreendimento total. (EPE, 2012).

Para o sistema do projeto em questão tem-se um gasto aproximado com o BoS em torno de R\$ 185.190. Somando os custos do BoS, com os custos dos módulos e dos inversores tem-se o custo total do sistema de geração fotovoltaica, totalizando R\$ 802.490,00. Esse dado será usado para realizar o cálculo econômico de acordo com o *Payback* (PB). Será considerada uma Taxa Mínima Atrativa (TMA) de 5% ao ano, superior à caderneta de poupança dos últimos meses.

Conforme Miranda (2014), o PB é o tempo necessário para que se obtenha a recuperação de todo o capital investido em algum projeto. É uma técnica muito utilizada em sistemas elétricos e de eficiência energética para analisar a sua viabilidade econômica.

Para o cálculo será usado a TIR, que representa uma taxa de juro que relaciona o capital investido com o valor recuperado ao final do investimento.

A economia anual considerou a subtração do valor consumido, pela taxa de disponibilidade contratada, obtendo uma economia anual de R\$ 112.508,921, conforme pode ser visto na Tabela 2, onde aparece o resultado da TIR, considerando 5% para o cálculo TMA.

Tabela 2 – Resultado para a TIR

Taxa Interna de Retorno (TIR)			
Ano	Economia anual (R\$)	fluxo de caixa	
		-R\$	802.490,00
1	112.508,921	-R\$	689.981,08
2	112.508,921	-R\$	577.472,16
3	112.508,921	-R\$	464.963,24
4	112.508,921	-R\$	352.454,32
5	112.508,921	-R\$	239.945,40
6	112.508,921	-R\$	127.436,47
7	112.508,921	-R\$	14.927,55
8	112.508,921	R\$	97.581,37
9	112.508,921	R\$	210.090,29
10	112.508,921	R\$	322.599,21
11	112.508,921	R\$	435.108,13
12	112.508,921	R\$	547.617,05
13	112.508,921	R\$	660.125,97
14	112.508,921	R\$	772.634,89
15	112.508,921	R\$	885.143,81
16	112.508,921	R\$	997.652,74
17	112.508,921	R\$	1.110.161,66
18	112.508,921	R\$	1.222.670,58
19	112.508,921	R\$	1.335.179,50
20	112.508,921	R\$	1.447.688,42
	Resultado		9%

Fonte (autoria própria)

Conforme verificado na Tabela de resultados da TIR, percebe-se que a taxa ficou em 9%, acima da TMA de 5% do projeto, então, se pode afirmar que é economicamente viável o investimento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o dimensionamento em estudo, foram coletados os seguintes dados da edificação: a inclinação do telhado, orientação solar e área disponível. Com esses dados e o histórico do consumo de energia elétrica, foi possível realizar o cálculo da potência fotovoltaica a ser instalada e também o número de módulos necessários, chegando ao resultado equivalente a 100% da compensação da tarifa de energia elétrica do período de fora de ponta.

Quanto à viabilidade econômica foi utilizado o indicador da Taxa Interna de Retorno. Para esse foi considerado uma economia anual da tarifa de energia em torno de R\$ 112.508,921 e uma TMA de 5% de acordo com a caderneta de poupança. A análise para a TIR também se mostrou satisfatória, pois os 9% encontrados ficaram acima dos 5%, da TMA.

CONCLUSÃO

Os resultados encontrados nesse estudo de caso demonstram que há viabilidade técnica e financeira na instalação do sistema fotovoltaico escolhido, suprimindo a demanda da edificação. Mesmo o custo inicial sendo alto, conclui-se através dos indicadores financeiros utilizados que o investimento se paga em 7 anos, isso quer dizer que o retorno de investimento é viável em menos de 50% da vida útil do sistema.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica. ANEEL: **Atlas de Energia Elétrica do Brasil Capítulo 03** - 2ª Edição. 2002. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/download.htm>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

Agência Nacional de Energia Elétrica. ANEEL: Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015: Estabelece as condições gerais de acordo com as novas regras, quanto ao prazo de validade dos créditos. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 08 abril. 2018.

Agência Nacional de Energia Elétrica. ANEEL: **Resolução Normativa Nº 414, de 09 de setembro de 2010: Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-6f9-4ddf-94c3f01d76d6f14a?version=1.0>>. Acesso em: 05 mar. 2018.

BRAGA, R. P. **Energia Solar fotovoltaica: Fundamentos e aplicações.** Monografia de Graduação de Engenharia de Controle e Automação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MILKE, Tafarel F.; RODRIGUES, Mauro F. **Geração Fotovoltaica: Apostila da Disciplina de Geração de Energia Elétrica.** Ijuí, RS: 2016.

EHRlich, Pierre J.; MORAES, Edemilson A. **Engenharia Econômica.** São Paulo: Atlas, 2014.

Empresa de Pesquisa Energética. EPE: **Análise Da Inserção Da Geração Solar Na Matriz Elétrica Brasileira.** Rio de Janeiro. 2012. Disponível em: <www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos_23/nt_energiasolar_2012.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2018.

FARRET, A. F. **Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica.** Santa Maria: Ufsm, 2014.

GREENBRAS **Energia limpa para todos.** Disponível em: <<http://greenbras.com/energia-solar-como-funciona/>> Acesso em 06 abr. 2018.



De 04/06/2018 a 06/06/2018

MIRANDA, Arthur Biagio Canedo Montesano. **Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede.** Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

REIS, L. B. **Geração de Energia elétrica.** Barrueri: Manole, 2013.