



Energia Solar e Eólica

Paulo Jayme Pereira Abdala
(Organizador)

 **Atena**
Editora

Ano 2019

Paulo Jayme Pereira Abdala
(Organizador)

Energia Solar e Eólica

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Karine de Lima

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E56 Energia solar e eólica [recurso eletrônico] / Organizador Paulo Jayme Pereira Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Energia Solar e Eólica; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-066-7

DOI 10.22533/at.ed.667192201

1. Energia – Fontes alternativas. 2. Energia eólica. 3. Energia solar. I. Abdala, Paulo Jayme Pereira.

CDD 621.042

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

As chamadas energias renováveis, também conhecidas como energias alternativas ou ainda energias limpas são três denominações possíveis para qualquer forma de energia obtida por meio de fontes renováveis, e que não produzem grandes impactos ambientais negativos. Atualmente, com a grande preocupação mundial em compensar as emissões de CO₂, o consumo deste tipo de energia tem sido o foco de governos e empresas em todo globo.

Neste sentido, o Brasil possui uma matriz energética bastante limpa, onde predomina o uso de hidrelétricas, apesar do crescimento do uso de termelétricas, as quais são abastecidas por combustível fóssil. No Brasil, o setor energético é responsável por grande parte das emissões de CO₂, ficando atrás somente do setor agrícola que reapresenta a maior contribuição para o efeito estufa brasileiro.

A energia proveniente do sol é a alternativa renovável mais promissora para o futuro e, por este motivo tem recebido maior atenção e também mais investimentos. A radiação solar gratuita fornecida pelo sol pode ser captada por placas fotovoltaicas e ser posteriormente convertida em energia elétrica. Esses painéis usualmente estão localizados em construções, como indústrias e casas, o que proporciona impactos ambientais mínimos. Esse tipo de energia é uma das mais fáceis de ser implantada em larga escala. Além de beneficiar os consumidores com a redução na conta de energia elétrica reduzem as emissões de CO₂.

Com relação à energia eólica, o Brasil faz parte do grupo dos dez países mais importantes do mundo para investimentos no setor. As emissões de CO₂ requeridas para operar esta fonte de energia alternativa são extremamente baixas e é uma opção atrativa para o país não ser dependente apenas das hidrelétricas. Os investimentos em parques eólicos vem se tornando uma ótima opção para neutralização de carbono emitidos por empresas, indústrias e etc.

Neste contexto, este EBOOK apresenta uma importante contribuição no sentido de atualizar os profissionais que trabalham no setor energético com informações extremamente relevantes. Ele está dividido em dois volumes contendo artigos práticos e teóricos importantes para quem deseja informações sobre o estado da arte acerca do assunto.

Paulo Jayme Pereira Abdala

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	10
UMA REVISÃO SOBRE AS TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS ATUAIS	
Alexandre José Bühler Ivan Jorge Gabe Fernando Hoefling dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.6671922011	
CAPÍTULO 2	26
VALIDAÇÃO DE MODELOS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO	
Bruna de Oliveira Busson Pedro Henrique Fonteles Dias Ivonne Montero Dupont Pedro Hassan Martins Campos Paulo Cesar Marques de Carvalho Edylla Andressa Queiroz Barroso	
DOI 10.22533/at.ed.6671922012	
CAPÍTULO 3	41
A GERAÇÃO SOLAR DE CALOR DE PROCESSOS INDUSTRIAIS NA PRODUÇÃO DE GESSO BETA DO POLO GESSEIRO DO ARARIPE	
André Vitor de Albuquerque Santos Kenia Carvalho Mendes	
DOI 10.22533/at.ed.6671922013	
CAPÍTULO 4	58
A UTILIZAÇÃO DO SILÍCIO NACIONAL PARA A FABRICAÇÃO DE PLACAS SOLARES: UMA REFLEXÃO DAS DIFICULDADES TECNOLÓGICA E FINANCEIRA	
Felipe Souza Davies Gustavo Luiz Frisso Matheus Vinícius Brandão	
DOI 10.22533/at.ed.6671922014	
CAPÍTULO 5	72
AEROPORTO DE VITÓRIA/ES: ESTUDO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	
Ana Luiza Guimarães Valory Sidney Schaeffer Warley Teixeira Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.6671922015	
CAPÍTULO 6	87
ANÁLISE ENERGÉTICA E EXERGÉTICA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE SILÍCIO MONOCRISTALINO E POLICRISTALINO	
Suellen Caroline Silva Costa Janaína de Oliveira Castro Silva Cristiana Brasil Maia Antônia Sônia Alves Cardoso Diniz	
DOI 10.22533/at.ed.6671922016	

CAPÍTULO 7	1043
ANÁLISE HARMÔNICA NOS INVERSORES FOTOVOLTAICOS DE UMA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA	
Alessandro Bogila Joel Rocha Pinto Thales Prini Franchi Thiago Prini Franchi	
DOI 10.22533/at.ed.6671922017	
CAPÍTULO 8	120
ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO NO MODELO DE UMA ÁRVORE NA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA	
Bárbara de Luca De Franciscis Gouveia	
DOI 10.22533/at.ed.6671922018	
CAPÍTULO 9	139
ANÁLISE FINANCEIRA DE SISTEMAS DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA FINANCIADOS EM PALMAS - TO	
Brunno Henrique Brito Maria Lúcia Feitosa Gomes de Melo	
DOI 10.22533/at.ed.6671922019	
CAPÍTULO 10	152
APLICAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM ESCOLAS MUNICIPAIS DA CIDADE DE CRUZ ALTA/RS: ANÁLISE DE IMPLANTAÇÃO E POTENCIAL DE ENERGIA GERADA	
Alessandra Haas Franciele Rohr Ísis Portolan dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.66719220110	
CAPÍTULO 11	165
APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA (MPPT) EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
Augusto Hafemeister João Batista Dias Leonel Augusto Calliari Poltosi	
DOI 10.22533/at.ed.66719220111	
CAPÍTULO 12	181
AR CONDICIONADO SOLAR – CICLO DE ADSORÇÃO	
Rafael de Oliveira Barreto Pollyanne de Oliveira Carvalho Malaquias Matheus de Mendonça Herzog Luciana Carvalho Penha Lucio Cesar de Souza Mesquita Elizabeth Marques Duarte Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.66719220112	
CAPÍTULO 13	194
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO COLETOR SOLAR PLANO ACOPLADO EM SECADOR HÍBRIDO	
Raphaela Soares da Silva Camelo	

Ícaro da Silva Misquita
Thais Andrade de Paula Lovisi
Lizandra da Conceição Teixeira Gomes de Oliveira
Juliana Lobo Paes
Camila Lucas Guimarães

DOI 10.22533/at.ed.66719220113

CAPÍTULO 14 212

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE NOVO PROTÓTIPO DE FOTOBIORREATOR NÃO TRANSPARENTE PARA CULTIVO DE MICROALGAS COM ILUMINAÇÃO INTERNA ATRAVÉS DE POFS QUE RECEBEM A LUZ DE LENTES MONTADAS EM SISTEMA DE RASTREAMENTO SOLAR

Gisel Chenard Díaz
Yordanka Reyes Cruz
Rene Gonzalez Carliz
Fabio Toshio Dino
Maurílio Novais da Paixão
Donato A. Gomes Aranda
Marina Galindo Chenard

DOI 10.22533/at.ed.66719220114

CAPÍTULO 15 225

AVALIAÇÃO DE WEBSITES BRASILEIROS PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE: PARÂMETROS DE ENTRADA E RESULTADOS

Marina Calcagnotto Mascarello
Letícia Jenisch Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.66719220115

CAPÍTULO 16 241

AVALIAÇÕES DE CUSTO E DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS TIPO SIGFI COM DIFERENTES PERÍODOS DE AUTONOMIA

Marta Maria de Almeida Olivieri
Leonardo dos Santos Reis Vieira
Marco Antonio Galdino
Márcia da Rocha Ramos

DOI 10.22533/at.ed.66719220116

CAPÍTULO 17 257

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO CONSIDERANDO O EFEITO DA ESTEIRA AERODINÂMICA DE TURBINAS ATRAVÉS DO MODELO DO DISCO ATUADOR

Luiz Fernando Pezzi
Adriane Prisco Petry

DOI 10.22533/at.ed.66719220117

CAPÍTULO 18 272

COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE DIFERENTES BASES DE DADOS DE IRRADIAÇÃO - ESTUDO DE CASO EM CURITIBA

Danilo Carvalho de Gouveia
Jeanne Moro
Muza Iwanow
Rebecca Avença
Jair Urbanetz Junior

DOI 10.22533/at.ed.66719220118

CAPÍTULO 19	284
DESENVOLVIMENTO DE SUPERFÍCIES SUPERHIDROFÓBICAS COM EFEITO AUTOLIMPANTE PARA APLICAÇÕES EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
Lucélio Oliveira Lemos	
Magnum Augusto Moraes Lopes de Jesus	
Aline Geice Vitor Silva	
Angela de Mello Ferreira	
DOI 10.22533/at.ed.66719220119	
CAPÍTULO 20	297
DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	
Stéphane Rodrigues da Silva	
Érica Tiemi Anabuki	
Luis Cláudio Gambôa Lopes	
DOI 10.22533/at.ed.66719220120	
CAPÍTULO 21	312
DO PETRÓLEO À ENERGIA FOTOVOLTAICA: A INSERÇÃO DO BRASIL NESTE NOVO MERCADO	
Emilia Ribeiro Gobbo	
Maria Antonia Tavares Fernandes da Silva	
Rosemarie Bröker Bone	
DOI 10.22533/at.ed.66719220121	
CAPÍTULO 22	330
EFEITO DO SOMBREAMENTO EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
José Rafael Cápua Proveti	
Daniel José Custódio Coura	
Carlos Roberto Coutinho	
Adriano Fazolo Nardoto	
DOI 10.22533/at.ed.66719220122	
CAPÍTULO 23	342
ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO ENERGÉTICA E DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRADO AO COMPLEXO AQUÁTICO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA	
Helena Flávia Napolini	
Gustavo Xavier de Andrade Pinto	
Julio Boing Neto	
Ricardo Rütther	
DOI 10.22533/at.ed.66719220123	
CAPÍTULO 24	354
ESTUDO DA SECAGEM INTERMITENTE DA MANGA UTILIZANDO SECADOR HÍBRIDO SOLAR-ELÉTRICO	
Camila Lucas Guimarães	
Juliana Lobo Paes	
Raphaela Soares da Silva Camelo	
Madelon Rodrigues Sá Braz	
Ícaro da Silva Misquita	
Lizandra da Conceição Teixeira Gomes de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.66719220124	

CAPÍTULO 25	367
ANÁLISE PRÉVIA DO VALOR DA DEPENDÊNCIA DO SOLO PARA AS ATIVIDADES AGRÍCOLAS COM A POSSÍVEL IMPLANTAÇÃO DO PARQUE EÓLICO DA SERRA, EM SÃO FRANCISCO DE PAULA, RS	
Antonio Robson Oliveira da Rosa Leonardo Beroldt Rafael Haag	
DOI 10.22533/at.ed.66719220125	
CAPÍTULO 26	379
APLICAÇÃO DE UM DVR EM AEROGERADORES SCIG E DFIG PARA AUMENTO DE SUORTABILIDADE FRENTE A AFUNDAMENTOS DE TENSÃO	
Edmar Ferreira Cota Renato Amorim Torres Victor Flores Mendes	
DOI 10.22533/at.ed.66719220126	
CAPÍTULO 27	398
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DE UMA REGIÃO COM TOPOGRAFIA COMPLEXA UTILIZANDO DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL	
William Corrêa Radünz Alexandre Vagtinski de Paula Adriane Prisco Petry	
DOI 10.22533/at.ed.66719220127	
CAPÍTULO 28	410
EDIFICAÇÃO DE ENERGIA POSITIVA: ANÁLISE DE GERAÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESCRITÓRIO VERDE DA UTFPR EM CURITIBA	
Larissa Barbosa Krasnhak Elis Almeida Medeiros de Mello Jair Urbanetz Junior Eloy Casagrande Junior	
DOI 10.22533/at.ed.66719220128	
CAPÍTULO 29	422
ESTAÇÃO METEOROLÓGICA WIFI DE BAIXO CUSTO BASEADO EM THINGSPEAK	
Renan Tavares Figueiredo Odélsia Leonor Sanchez de Alsina Diego Lopes Coriolano Eurípes Lopes de Almeida Neto Ladjane Coelho dos Santos Iraí Tadeu Ferreira de Resende Ana Claudia de Melo Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.66719220129	
SOBRE O ORGANIZADOR	431

ANÁLISE FINANCEIRA DE SISTEMAS DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA FINANCIADOS EM PALMAS - TO

Brunno Henrique Brito

Instituto Federal do Tocantins – Campus Palmas
Palmas - Tocantins

Maria Lúcia Feitosa Gomes de Melo

Instituto Federal do Tocantins – Campus Palmas
Palmas - Tocantins

RESUMO: Com a publicação da Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), que regulamenta os sistemas de geração distribuída, os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) têm se destacado entre os sistemas mais instalados devido às quedas frequentes nos custos dos sistemas e às altas periódicas nas tarifas de energia. Ainda assim os SFCR's ainda são relativamente caros e inacessíveis à boa parte da população, o que faz com que muitos procurem linhas de crédito para financiar a instalação de um sistema como esse. Por isso, este artigo realiza uma análise do tempo de retorno financeiro para diversos sistemas de microgeração considerando diferentes prazos e taxas de financiamento no município de Palmas - TO. Os resultados aqui apresentados mostram que o tempo para o sistema se pagar pode variar entre 33 e 183 meses, sendo os piores resultados provenientes de financiamentos de **sistemas menores com taxas e prazos maiores**.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, Financiamento, Retorno Financeiro.

ABSTRACT: With the publication of Normative Resolution No. 482/2012 of ANEEL (National Agency for Electric Energy), which regulates distributed generation systems, grid-tie photovoltaic systems (SFCR) have stood out among the most installed systems due to frequent system costs and periodic increases in energy tariffs. Still SFCRs are still relatively expensive and inaccessible to the majority of the population, which causes many to seek credit lines to finance the installation of such a system. Therefore, this article analyzes the payback for several microgeneration systems considering different timing and financing rates in the municipality of Palmas. The results presented here show that the time for the system to pay can vary between 33 and 183 months, with the worst results coming from financing of smaller systems with higher rates and deadlines.

KEYWORDS: Grid-Tie Photovoltaic Systems, Financing, Payback.

1 | INTRODUÇÃO

A matriz elétrica atual no Brasil é caracterizada por ser predominantemente

hidrelétrica (64%) e com boas participações de usinas termelétricas (28%). Nos últimos anos, as usinas eólicas têm ganhado espaço na matriz elétrica e já conta com mais de 7% da matriz elétrica total. Por isso, o ONS classifica o sistema elétrico brasileiro como hidro-termo-eólico (ONS, 2017).

Segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico Brasileiro (ONS), toda a energia gerada no Brasil é transportada pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), composto por uma malha de linhas de transmissão que cortam o país de Norte a Sul e de Leste a Oeste, como pode ser observado na Fig. 1.

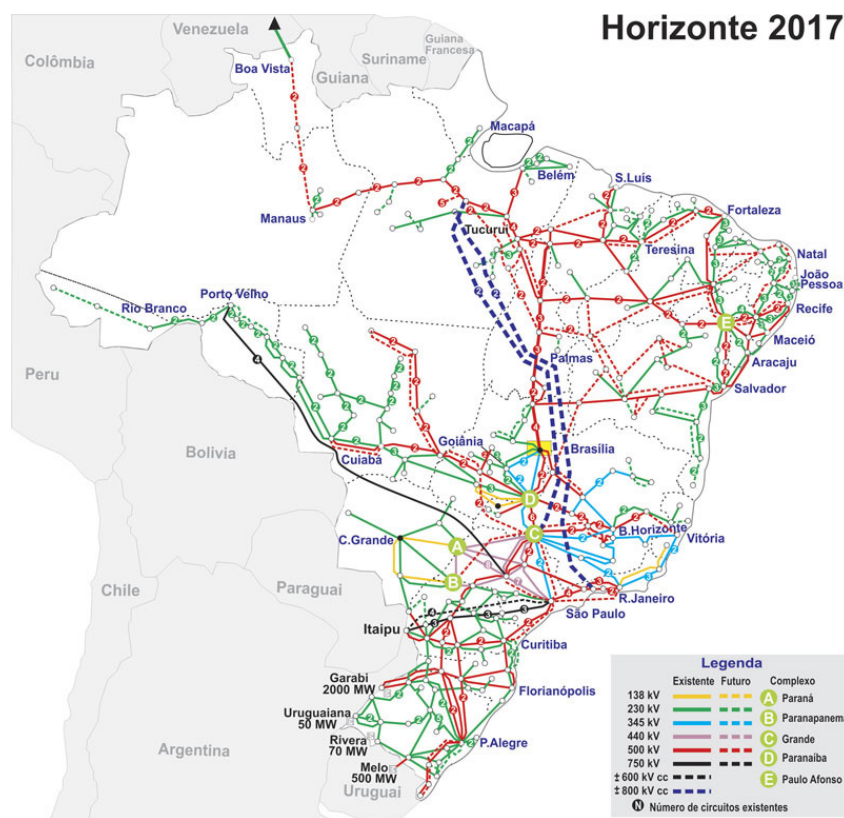


Figura 1: SIN (ONS, 2017)

Segundo o ONS, a interconexão dos chamados subsistemas (Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte) propicia transferência de energia e explora a diversidade entre os regimes hidrológicos nas diversas regiões do Brasil, proporcionando mais segurança e economicidade. No entanto, essas longas linhas de transmissão também proporcionam perdas acentuadas quando é necessário transmitir grandes níveis de energia elétrica para grandes centros de carga distantes da fonte geradora. Essas perdas tendem a aumentar quando a possibilidade e viabilidade de construção das grandes usinas hidrelétricas vão tendendo para localidades cada vez mais distantes dos grandes centros de carga.

Tais cenários demonstram a necessidade de diversificar as fontes de geração de energia elétrica no país no sentido de ficar menos dependente das usinas hidrelétricas e, conseqüentemente, dos cenários hidrológicos imprevisíveis. Além disso, para reduzir as grandes perdas nas longas linhas de transmissão e, conseqüentemente, a

necessidade de construção de novas linhas e fontes de geração distantes dos centros de carga, faz-se necessário investir e/ou incentivar também a geração distribuída, caracterizada por ser a geração de energia elétrica próxima à carga (Tolmasquim *et al.*, 2007).

Para incentivar a geração distribuída de fontes renováveis de energia elétrica no Brasil, a ANEEL lançou em 2012 a resolução normativa nº 482 (ANEEL, 2012). Esta resolução, que foi em 2015 atualizada pela resolução nº 687, regulamenta a micro e a minigeração distribuída (ANEEL, 2015). A microgeração distribuída é caracterizada por ser uma geração própria e conectada à rede elétrica da concessionária de até 75kW de potência. Já a minigeração distribuída é caracterizada por ser uma geração própria maior que 75 kW e menor que 5 MW de potência instalada. Além disso, a resolução nº 687 também regulamenta a forma de compensação da energia gerada e injetada na rede elétrica da concessionária local.

Com a regulamentação da geração distribuída, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) têm se destacado por serem de fácil instalação e manutenção. Além disso, as frequentes diminuições nos custos dos sistemas, os ótimos índices de radiação no Brasil e os frequentes aumentos nas tarifas de energia têm proporcionado um crescimento exponencial destes sistemas, como pode ser visto na Fig. 2 (ANEEL, 2017).

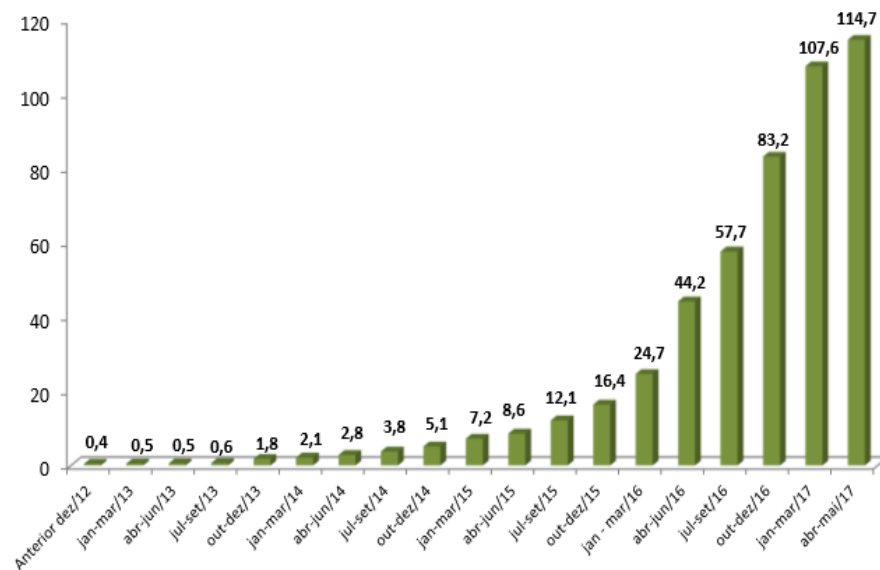


Figura 2: Evolução da potência instalada (em MWh) dos SFCR's no Brasil (ANEEL, 2017)

Além das vantagens citadas até então, o Estado do Tocantins publicou, em 20 de novembro de 2015, o Decreto 5.338 oficializando a adesão ao Convênio ICMS 16/15, isentando em 25% a energia gerada por um micro ou minigerador próprio que utiliza uma fonte renovável de energia. Outro incentivo estadual incluso neste decreto é a isenção de 18% para a compra de equipamento e componentes necessários para a instalação do sistema renovável de geração de energia elétrica conectada à rede

(Tocantins, 2015).

Na cidade de Palmas-TO, ainda existem incentivos fiscais proporcionados pela Lei Complementar nº 327, de 24 de novembro de 2015, que instaurou o Programa Palmas Solar. Dentre os incentivos concedidos por esta lei para quem instalar um sistema solar fotovoltaico conectado à rede, pode-se destacar: desconto de até 80% do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) limitado em 5 anos, porém o desconto será proporcional ao índice de aproveitamento do sistema de energia solar; desconto de até 80% do Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza (ISSQN), desde que incida em projetos, obras e instalações de empresas atuantes no ramo da energia solar, por um prazo de 10 anos para serviços de operação e manutenção de sistemas fotovoltaicos; e desconto de até 80% do Imposto de Transferência de Bens Imóveis (ITBI), proporcional ao índice de aproveitamento de energia solar (Palmas, 2015).

Apesar de todos esses cenários favoráveis, os SFCR ainda têm um custo relativamente alto e, por isso, ainda é inacessível a grande parte da população. Com isso, muitos têm buscado linhas de financiamento para bancar a instalação de um sistema como esse. No entanto, fazem-se necessárias informações que auxiliem os candidatos a microgeradores a concluir se realmente vale a pena utilizar determinada linha de crédito para financiar a instalação do SFCR em sua unidade consumidora. Nesse sentido, esse artigo vem mapear os tempos de retorno dos investimentos em SFCR nas proximidades da capital do Estado do Tocantins considerando diferentes taxas de financiamento e diferentes prazos.

2 | METODOLOGIA

A proposta desse artigo consiste em fazer uma análise, para diversos sistemas de microgeração fotovoltaica, dos tempos de retorno dos investimentos nos SFCR quando estes são financiados considerando diferentes taxas de juros mensais e diferentes prazos de financiamento. Para isso foi necessário seguir, na sequência, as seguintes etapas:

- Calcular a geração mensal (G) de cada sistema considerando a Eq. 1 (VILLALVA, 2015):

$$G = P \times I \times n \times \eta \quad (1)$$

Onde: G – Geração total (kWh); P – Potência instalada do sistema (kWp); I – Irradiação média diária (kWh/m².dia); η – Rendimento do Sistema (%);

- Considerar a depreciação anual na geração especificada pelo painéis fotovoltaicos;
- Estimar o custo de cada sistema considerando: o preço base do kit de ener-

gia solar que forma o sistema fotovoltaico, o valor do projeto necessário para a instalação do sistema, o valor da mão de obra para instalação do sistema e uma margem para eventuais gastos extras que possam surgir;

- Calcular o valor da parcela do financiamento para um determinado prazo;
- Utilizar a ferramenta matemática denominada *payback* descontado (tempo de retorno sobre o investimento) para a estimativa da economia mensal proporcionada pelo sistema, foi considerada a Eq. 2 (CURY; SOUZA; GONÇALVES; FILHO, 2012):

$$Vp = \frac{Fc}{(1+TMA)^{ano}} \quad (2)$$

Onde: Vp – valor presente líquido da economia proporcionada pelo sistema; Fc – fluxo de caixa dado pelo produto da tarifa da energia vigente multiplicado pela geração daquele mês; TMA – taxa mínima de atratividade; ano – períodos, em anos, futuros considerados.

- Verificar o tempo em que o sistema se paga, que ocorre quando o saldo passa a ser positivo;
- Verificar o tempo em que ocorre o retorno total do valor investido, que ocorre quando o saldo passa a ser positivo e imediatamente superior ao custo inicial do sistema.

3 | RESULTADOS

Os resultados foram obtidos considerando: rendimento global do sistema de 80%; irradiações médias mensais obtidas pelos dados da NASA, com média anual de 5,36 kWh/m².dia (SWERA, 2017) para a cidade de Palmas-TO; depreciação de 0,7% ao ano na geração do painel fotovoltaico; tarifa vigente de R\$0,80367/kWh; reajuste anual médio de 5,6% na tarifa de energia; desconto da meta da inflação ($TMA = 4,5\%$); prazos de financiamento variando entre 12 e 48 meses; taxas de juros de financiamento variando entre 0% e 5% ao mês (faixa de taxas de juros mais encontradas no mercado financeiro), com discretização de 0,5%; e IOF (Imposto sobre Operações Financeiras) incluído no cálculo das parcelas.

Os custos levantados para os SFCR's simulados, bem como a geração anual de cada sistema, podem ser conferidos na Tab. 1. Os orçamentos foram realizados considerando painéis fotovoltaicos de 320Wp.

SFCR (kWp)	Base (R\$)	Mão de Obra (R\$)	Projeto (R\$)	Outros (R\$)	TOTAL (R\$)	Custo por kWp (R\$ / kWp)	Geração Anual (kWh)
1,28	6621,80	600,00	1500,00	500,00	9221,80	7204,53	2003,4
1,6	8010,06	750,00	1500,00	500,00	10760,06	6725,04	2504,2
1,92	9999,28	900,00	1500,00	500,00	12899,28	6718,38	3005,0
2,56	11581,11	1200,00	2000,00	600,00	15381,11	6008,25	4006,7
3,2	12661,43	1500,00	2000,00	600,00	16761,43	5237,95	5008,4
3,84	15614,82	1800,00	2000,00	600,00	20014,82	5212,19	6010,1
4,48	16937,46	2100,00	2000,00	600,00	21637,46	4829,79	7011,7
5,12	17457,76	2400,00	2000,00	750,00	22607,76	4415,58	8013,4
5,76	19397,48	2700,00	2000,00	750,00	24847,48	4313,80	9015,1
6,4	20978,70	3000,00	2000,00	750,00	26728,70	4176,36	10016,8
7,68	27147,22	3600,00	2000,00	750,00	33497,22	4361,62	12020,1
8,96	32441,91	4200,00	2500,00	750,00	39891,91	4452,22	14023,5
9,6	33247,40	4500,00	2500,00	750,00	40997,40	4270,56	15025,2
10,24	36361,62	4800,00	2500,00	750,00	44411,62	4337,07	16026,8
15,36	49443,59	7200,00	3000,00	1000,00	60643,59	3948,15	24040,2
20,48	61840,37	9600,00	3000,00	1000,00	75440,37	3683,61	32053,7
24,96	72182,21	11700,00	3500,00	1000,00	88382,21	3540,95	39065,4
30,72	83729,81	14400,00	3500,00	1000,00	102629,81	3340,81	48080,5
40,32	119741,40	18900,00	3000,00	1000,00	142641,40	3537,73	63105,6
49,92	143456,66	23400,00	3500,00	1000,00	171356,66	3432,63	78130,8
61,44	166364,49	28800,00	4000,00	1000,00	200164,49	3257,89	96161,0
74,88	209739,76	35100,00	5000,00	1000,00	250839,76	3349,89	117196,2

Tabela 1 - Resultados do sistema base de 3,2kWp

Verifica-se, a partir da Tab. 1, que o custo do kWp instalado tende a cair a medida que o sistema adquirido é maior.

Para facilitar o entendimento dos resultados, inicialmente as análises são realizadas em um sistema base, sendo escolhido o de 3,2 kWp, e na sequência as análises são generalizadas para todos os sistemas simulados.

3.1 Tempos de Retorno dos Investimentos – Sistema Base de 3,2 kWp

A Fig. 3 apresenta o comportamento do retorno financeiro ao longo do tempo (*payback*) no SFCR de 3,2 kWp, quando este é comprado à vista. Percebe-se, no gráfico, que o sistema se paga após cerca de 51 meses e o retorno total do valor investido ocorre após 101 meses.

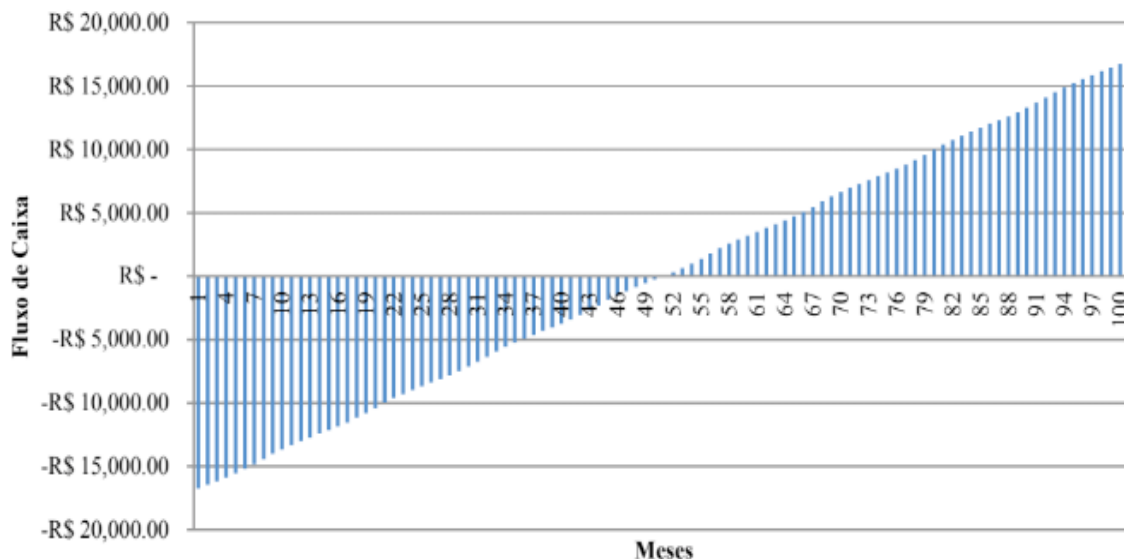


Figura 3 – *Payback* do sistema de 3,2 kWp comprado à vista

O *payback* deste mesmo sistema sendo financiado a uma taxa de 0,5% ao mês em 24 meses pode ser conferido na Fig. 4. Nesse caso, o valor da parcela estimada foi de R\$754,55. É possível perceber agora que o sistema se paga por volta dos 55 meses, 4 meses mais tarde que comprando o sistema à vista, e o retorno total do valor investido ocorre após 104 meses, 3 meses mais tarde que comprando o sistema à vista.

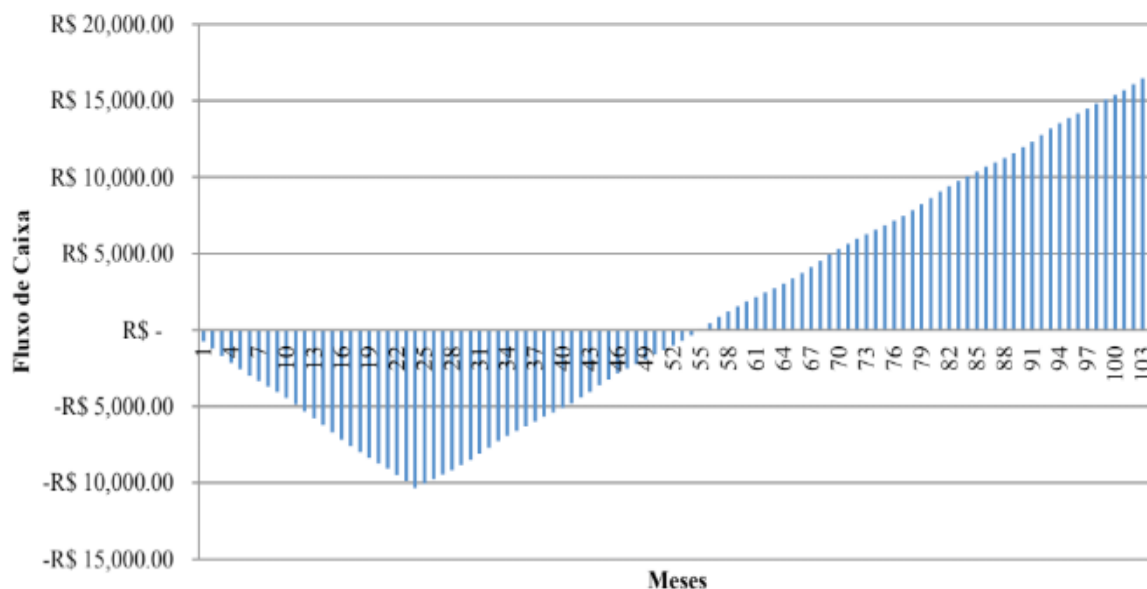


Figura 4 – *Payback* do sistema de 3,2kWp financiado em 24 meses a 0,5% ao mês

O *payback* deste mesmo sistema sendo financiado a uma taxa de 1% ao mês em 24 meses pode ser conferido na Fig. 5. Nesse caso, o valor da parcela estimada foi de R\$801,53. É possível perceber agora que o sistema se paga após cerca de 58 meses, 7 meses mais tarde que comprando o sistema à vista, e o retorno total do valor investido ocorre após 107 meses, 6 meses mais tarde que comprando o sistema à

vista.

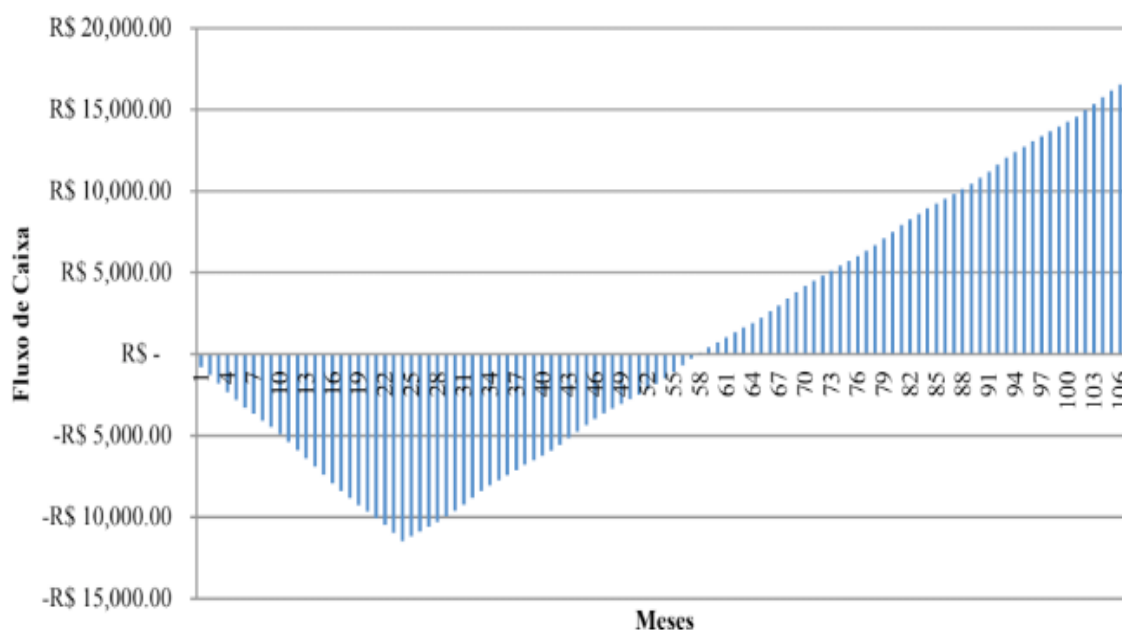


Figura 5 – Payback do sistema de 3,2 kWp financiado em 24 meses a 1% ao mês

Na Fig. 6 pode-se comparar os *payback's* para financiamentos em 24 meses considerando diferentes taxas de juros. Neste gráfico fica visível perceber que quanto maior for a taxa de juros mensais, maior será o tempo para o sistema se pagar e, conseqüentemente, para haver o retorno do valor investido. Para a taxa de juros de 5%, por exemplo, o sistema se paga após 89 meses, 38 meses mais tarde que comprando o sistema à vista, e o retorno total do valor investido ocorre após 138 meses, 37 meses mais tarde que comprando o sistema à vista.

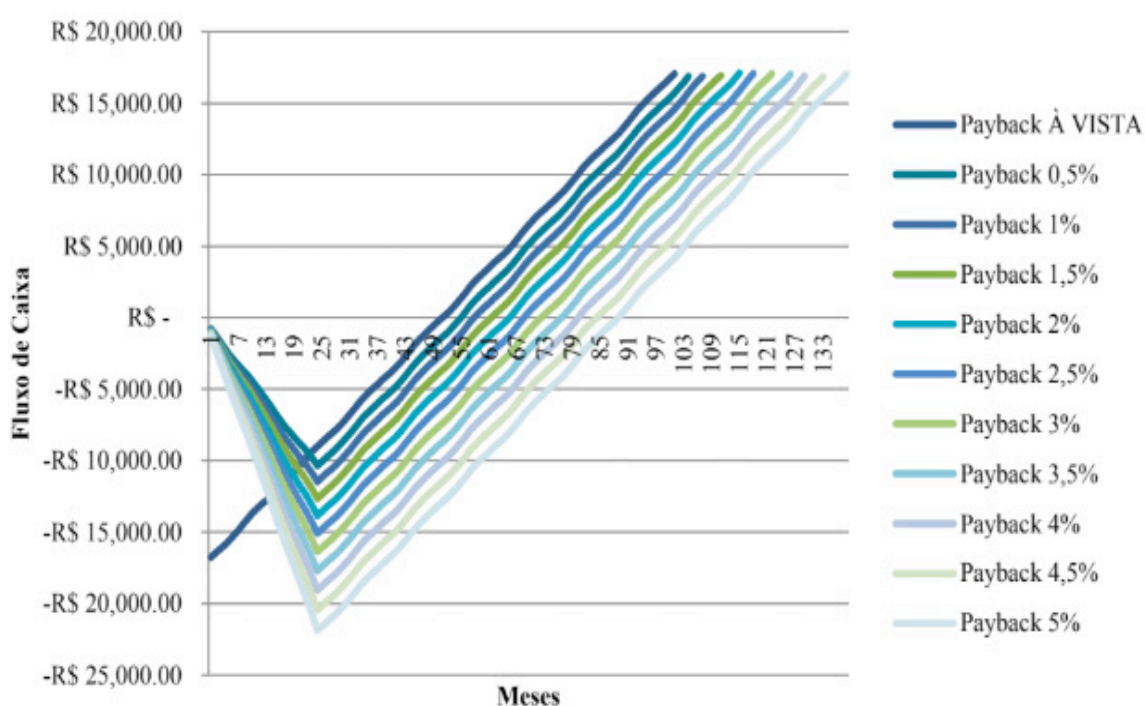


Figura 6 – *Payback's* do sistema de 3,2kWp financiado em 24 meses considerando diferentes taxas de juros

Na Fig. 7 é possível comparar os *payback's* para financiamentos em 48 meses considerando diferentes taxas de juros. Considerando o pior caso simulado, que considera a taxa de juros de 5% ao mês, por exemplo, o sistema se paga após 134 meses, 83 meses mais tarde que comprando o sistema à vista, e o retorno total do valor investido ocorre após 182 meses, 81 meses mais tarde que comprando o sistema à vista. Verifica-se então que o sistema começa a ficar inviável à medida que a taxa de juros vai ficando muito alta e o prazo vai se estendendo.

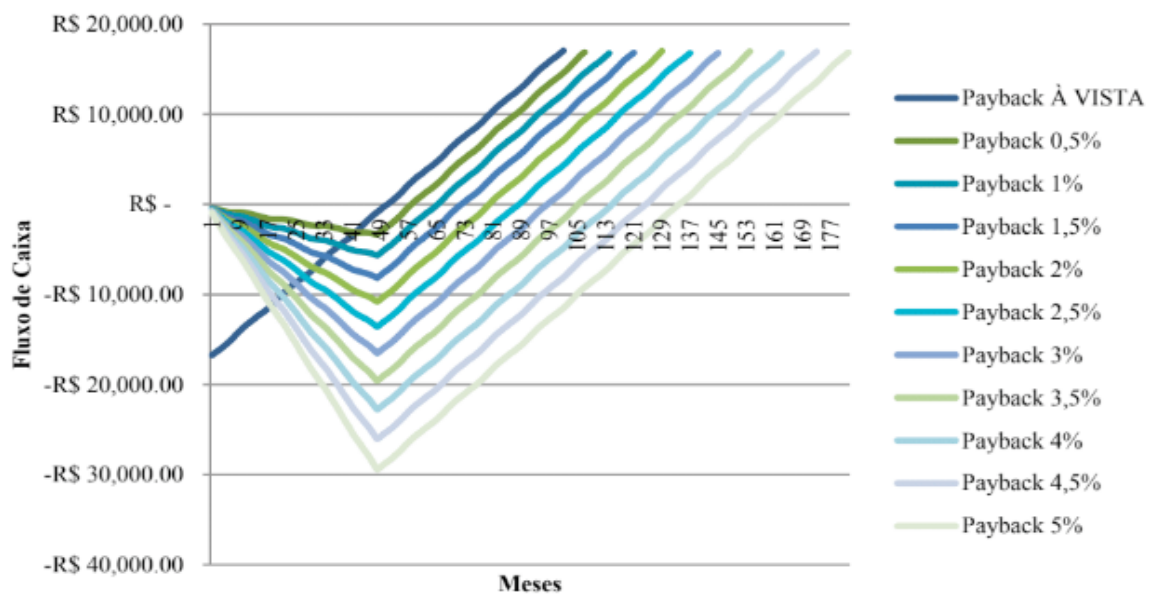


Figura 7 – *Payback's* do sistema de 3,2kWp financiado em 48 meses considerando diferentes taxas de juros

3.2 Tempos de Retorno dos Investimentos para todos os Sistemas Simulados

Após analisar detalhadamente os estudos de tempo de retorno de investimento considerando diferentes taxas de juros mensais e diferentes prazos para o sistema base de 3,2 kWp, é possível estender essas análises para os SFCR's enquadrados na microgeração distribuída apresentados na Tab.1.

Na Tab. 2 pode ser verificado o estudo completo de tempos de retorno de investimento (*payback's*) para os diversos sistemas de microgeração simulados considerando os sistemas sendo financiados em 12 meses para as taxas de juros mensais variando entre 0% e 5%. Nesta tabela pode-se verificar o tempo que o sistema leva para se pagar ou assumir um saldo positivo (colunas "P"), e o tempo que ocorre o retorno total do valor investido (colunas "R").

TAXA	1,28			1,6			1,92			2,56			3,2			3,84			4,48			5,12			5,76			6,4			7,68			8,96			9,6			10,24			15,36			20,48			24,96			30,72			40,32			49,92			61,44			74,88																								
	P	R	P	P	R	P	P	R	P	P	R	P	P	R	P	P	R	P	P	R	P	P	R	P	P	R	P	P	R	P	P	R	P	P	R	P	P	R	P	P	R	P	P	R	P	P	R	P	P	R	P	P	R	P																																		
0,0	69	137	66	128	66	128	58	115	51	101	51	100	47	93	44	83	43	83	42	80	43	84	44	86	42	82	43	83	39	77	36	71	37	69	33	65	35	68	34	67	33	63	33	65	69	137	66	128	66	128	58	115	51	101	51	100	47	93	44	83	43	83	42	80	43	84	44	86	42	82	43	83	39	77	36	71	37	69	33	65	35	68	34	67	33	63	33	65
0,5	81	146	75	137	74	137	67	123	58	107	58	107	54	99	50	91	45	89	51	86	49	90	50	92	33	88	49	90	46	81	37	74	37	73	6	69	7	73	7	71	6	68	6	69	89	155	83	146	83	145	75	130	66	114	65	114	60	105	56	97	55	94	53	92	55	95	56	97	54	93	55	95	50	87	38	79	36	78	8	74	9	78	9	76	8	72	8	74
1,0	89	155	83	146	83	145	75	130	66	114	65	114	60	105	56	97	55	94	53	92	55	95	56	97	54	93	55	95	50	87	38	79	36	78	8	74	9	78	9	76	8	72	8	74	99	165	93	154	92	154	83	139	72	121	72	121	67	112	62	103	60	101	58	97	61	102	62	104	59	100	60	101	60	92	39	83	50	83	21	79	50	83	44	81	19	77	30	79
1,5	99	165	93	154	92	154	83	139	72	121	72	121	67	112	62	103	60	101	58	97	61	102	62	104	59	100	60	101	60	92	39	83	50	83	21	79	50	83	44	81	19	77	30	79	109	176	103	164	103	164	92	148	80	129	80	128	74	119	68	109	67	107	65	104	68	108	69	110	66	106	67	107	61	98	41	88	55	89	52	83	55	88	54	86	51	81	53	83
2,0	109	176	103	164	103	164	92	148	80	129	80	128	74	119	68	109	67	107	65	104	68	108	69	110	66	106	67	107	61	98	41	88	55	89	52	83	55	88	54	86	51	81	53	83	120	187	113	175	113	175	102	156	89	137	88	137	82	127	75	116	73	114	71	110	74	115	76	117	72	113	74	114	68	104	42	93	60	93	57	89	60	93	59	91	56	86	57	89
2,5	120	187	113	175	113	175	102	156	89	137	88	137	82	127	75	116	73	114	71	110	74	115	76	117	72	113	74	114	68	104	42	93	60	93	57	89	60	93	59	91	56	86	57	89	132	198	124	186	124	185	111	166	97	145	96	145	90	134	82	123	80	120	78	117	81	122	83	125	80	119	81	121	74	111	43	99	67	100	63	94	67	100	65	96	61	92	63	94
3,0	132	198	124	186	124	185	111	166	97	145	96	145	90	134	82	123	80	120	78	117	81	122	83	125	80	119	81	121	74	111	43	99	67	100	63	94	67	100	65	96	61	92	63	94	144	210	135	197	135	196	121	176	106	154	105	153	98	142	90	130	88	128	85	124	89	129	91	131	87	127	89	128	80	117	44	105	72	105	68	100	72	105	70	103	67	97	69	100
3,5	144	210	135	197	135	196	121	176	106	154	105	153	98	142	90	130	88	128	85	124	89	129	91	131	87	127	89	128	80	117	44	105	72	105	68	100	72	105	70	103	67	97	69	100	157	222	147	208	147	208	131	187	115	163	115	163	106	151	97	139	95	135	92	131	96	137	98	140	94	134	96	136	88	124	45	111	74	44	74	105	79	112	77	108	72	103	75	106
4,0	157	222	147	208	147	208	131	187	115	163	115	163	106	151	97	139	95	135	92	131	96	137	98	140	94	134	96	136	88	124	45	111	74	44	74	105	79	112	77	108	72	103	75	106	170	235	159	220	159	220	142	197	125	173	124	172	115	160	105	146	103	143	100	139	104	144	106	148	103	141	104	144	94	131	46	117	85	118	81	112	85	118	82	115	79	109	81	112
4,5	170	235	159	220	159	220	142	197	125	173	124	172	115	160	105	146	103	143	100	139	104	144	106	148	103	141	104	144	94	131	46	117	85	118	81	112	85	118	82	115	79	109	81	112	183	248	171	232	171	232	153	208	134	182	134	181	125	168	114	154	111	151	108	146	113	153	115	155	110	150	112	152	97	139	91	124	92	125	87	118	87	125	90	121	85	115	87	118
5,0	183	248	171	232	171	232	153	208	134	182	134	181	125	168	114	154	111	151	108	146	113	153	115	155	110	150	112	152	97	139	91	124	92	125	87	118	87	125	90	121	85	115	87	118																																												

Tabela 5 – Payback's (em meses) para financiamentos em 48 meses

Fazendo uma análise geral dos resultados, percebe-se que à medida que a quantidade de parcelas e a taxa de juros vão aumentando, o tempo para o sistema se pagar aumenta na mesma proporção. No pior caso, por exemplo, que seria o financiamento de um sistema de 1,28 kWp em 48 meses com uma taxa de juros de 5% ao mês, o sistema se pagaria após 183 meses (15 anos e 3 meses). Se for considerado que a vida útil média de um inversor é de 15 anos, conclui-se que o sistema neste caso se torna inviável, já que antes de ele se pagar já seria necessário trocar o inversor, que para um sistema pequeno como esse pode ultrapassar a metade do custo do sistema completo.

No caso de sistemas financiados em 48 meses (Tab. 5) ocorre um fato inusitado para os sistemas maiores. Por exemplo, no financiamento de um sistema de 40,32 kWp em 48 meses a uma taxa de 0,5% ao mês percebe-se o saldo ficando positivo no sétimo (7º) mês. Isso ocorre quando a economia mensal proporcionada pelo sistema fica maior que a parcela. Neste caso, o saldo vai aumentando logo nos primeiros meses e, por isso, não se pode concluir que o sistema se paga em 7 meses, já que existe um saldo devedor a ser pago ao longo dos próximos meses até integralizar os 48 meses.

4 | CONCLUSÃO

Os resultados aqui apresentados mostraram os impactos de diferentes formas de financiamentos de sistemas de microgeração fotovoltaica conectada à rede nos tempos de retorno dos investimentos em Palmas-TO a partir da ferramenta matemática denominada *payback* descontado. Para isso, foram considerados sistemas financiados com prazos variando de 12 a 48 meses e taxas de juros mensais variando de 0% a 5%. Inicialmente a análise foi feita de forma mais detalhada para um SFCR de 3,2 kWp e posteriormente expandida para SFCR's de diversas potências instaladas.

Na análise do sistema de 3,2 kWp foi possível perceber como o tempo para o sistema se pagar e, conseqüentemente, para haver o retorno total do valor investido, descontando uma inflação média de 4,5% e considerando um aumento médio anual de 5,6% na tarifa de energia, tende a aumentar a medida que a taxa de juros e o prazo

de financiamento também aumentam. Foi possível perceber, por exemplo, que se este SFCR de 3,2 kWp for financiado em 48 parcelas mensais a uma taxa de juros de 5% ao mês, o tempo para o sistema se pagar irá demorar 83 meses a mais se comparado com o mesmo SFCR comprado à vista. Já para um financiamento em 24 meses com uma taxa de juros de 0,5% ao mês, o tempo para o sistema se pagar é acrescido em apenas 4 meses.

Quando os resultados são expandidos para os diversos sistemas de microgeração analisados, percebe-se que o tempo para o sistema se pagar pode variar entre 33 e 183 meses. Os melhores resultados, representado pelos menores tempos de retorno financeiro, aconteceram para SFCR's maiores devido ao menor custo por kWp instalado. Se considerarmos a pior situação simulada por exemplo (taxas de 5% ao mês em 48 parcelas), os tempos para o sistema se pagar variaram de 85 meses (7 anos e 1 mês), para um SFCR de 61,44 kWp, a 183 meses (15 anos e 3 meses), para um SFCR de 1,28 kWp. Com isso, pode-se concluir que, para sistemas maiores, até taxas de financiamento e prazos um pouco maiores podem manter a viabilidade econômica do SFCR, já que é um sistema de vida útil que pode ultrapassar os 30 anos se for considerada a troca do inversor em cerca de metade deste período. Além disso, a troca dos inversores em sistemas maiores é proporcionalmente mais barato que em sistemas pequenos.

Logo, os resultados aqui apresentados podem auxiliar as diversas pessoas físicas e jurídicas das proximidades da cidade de Palmas-TO, e de regiões com níveis de irradiância e tarifas de energia semelhantes, que pretendem adquirir um SFCR, e não possuem todo o valor para investir neste sistema, a ter ciência dos impactos reais das diferentes taxas de juros e prazos de financiamentos no retorno financeiro que tal sistema pode proporcionar.

Para trabalhos futuros pode-se: expandir este estudo para sistemas de minigeração; considerar os impactos dos incentivos proporcionados pela Lei Palmas Solar; considerar custos com manutenção do sistema; expandir este estudo para outras localidades do Brasil; dentre outras possibilidades.

5 | REFERÊNCIAS

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. 2017. Banco de Informações de Geração. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acessado em outubro de 2017

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 482. 2012. Resolução Normativa N° 482, de 17 de abril de 2012. Abr. 2012.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. 2015. RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 687. Resolução Normativa N° 687, de 24 de novembro de 2015.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. 2017. Nota Técnica n° 0056/2017, de 24 de maio de 2017 – Brasil, Brasília.

CURY, M.; SOUZA, C.; GONÇALVES, D.; FILHO, J. 2012. Série Gestão Empresarial: Finanças Corporativas. Rio de Janeiro: FGV, 11ª EDIÇÃO, p. 73-78.

TOCANTINS, Estado do Tocantins. 2015. Decreto N° 5338 de 20 de novembro de 2015. Palmas, novembro de 2015.

ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico. 2017. Sistemas Isolados. Disponível em: < <http://ons.org.br> >. Acesso em: 31 out. 2017.

PALMAS, Prefeitura Municipal de Palmas. 2015. Lei Complementar N° 327 de 24 de novembro de 2015. Palmas, novembro de 2015.

SWERA, National Renewable Energy Laboratory (NREL). 2017. Disponível em: <https://maps.nrel.gov/swera/#/?aL=0&bL=groad&cE=0&IR=0&mC=40.21244%2C-91.625976&zL=4>. Acesso em: 31 out. 2017.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. 2007. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. Novos Estudos - CEBRAP, São Paulo, n. 79, p.47-69.

VILLALVA, M. G. 2015. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. 2. ed. São Paulo: Editora Érica.

SOBRE O ORGANIZADOR:

Paulo Jayme Pereira Abdala possui graduação em Engenharia Eletrônica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - RJ (1988), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2005) e pós-graduação em Gestão de Aviação Civil pela Universidade de Brasília (2003). Entre 1989 e 2008 foi Chefe do Laboratório de Ruído Aeronáutico e Emissões de Motores do DAC/ANAC, tendo desenvolvido centenas de estudos sobre poluição sonora e atmosférica oriundas da atividade aeronáutica. Foi representante oficial do Brasil em diversos Fóruns Internacionais sobre meio ambiente promovidos pela Organização de Aviação Civil Internacional OACI - Agência da ONU. Foi Coordenador dos Cursos de Engenharia de Produção, Elétrica, Civil e Mecânica na UNOPAR/PG entre 2013 e 2018. Atualmente é Consultor Independente para a AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, OACI e INFRAERO. Tem experiência na área de Engenharia Eletrônica, atuando principalmente nos seguintes temas: acústica, meio ambiente e pedagogia (metodologia TRAINAIR/OACI).

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-066-7

