

# Energia Elétrica e Sustentabilidade

Jaqueline Oliveira Rezende  
(Organizadora)



**Atena**  
Editora

Ano 2018

**JAQUELINE OLIVEIRA REZENDE**

(Organizadora)

# **Energia Elétrica e Sustentabilidade**

Atena Editora  
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Geraldo Alves e Natália Sandrini

**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  
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  
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  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b> <b>(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E56	Energia elétrica e sustentabilidade [recurso eletrônico] / Organizadora Jaqueline Oliveira Rezende. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-85107-45-1 DOI 10.22533/at.ed.451180110  1. Desenvolvimento energético – Aspectos ambientais. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Energia elétrica. I. Rezende, Jaqueline Oliveira.  CDD 338.4
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

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

2018

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](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A sustentabilidade pode ser entendida como a capacidade de o ser humano utilizar os recursos naturais para satisfazer as suas necessidades sem comprometer esses recursos para atender as gerações futuras. Nesse contexto, a sustentabilidade está inter-relacionadas em diversos setores, sendo os principais o social, o ambiental e o econômico. Dessa forma, constitui um dos desafios da sociedade moderna o desenvolvimento sustentável que objetiva preservar o meio ambiente durante a realização de outras atividades.

A energia elétrica representa um dos principais pilares para o progresso econômico de uma nação e, conseqüentemente, para o atendimento de inúmeras necessidades da humanidade. Portanto, esse setor também tem se preocupado com a geração, a transmissão, a distribuição de energia elétrica e a construção de novos empreendimentos, como as usinas hidrelétricas, de maneira a preservar o meio ambiente. Logo, a Engenharia Elétrica tem apresentado significativas pesquisas e resultados de ações pautadas na sustentabilidade.

Neste ebook é possível notar que a relação da Engenharia Elétrica e a Sustentabilidade é de preocupação de diversos profissionais envolvidos nesse setor, sendo esses advindos da academia, das concessionárias de energia elétrica e do governo. Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação da preservação do meio ambiente na engenharia elétrica.

Inicialmente são apresentados artigos que discorrem sobre o desenvolvimento sustentável e a sustentabilidade ambiental, custos ambientais em empreendimentos de geração de energia elétrica, recuperação ambiental, conservação da fauna, políticas administrativas e direcionamento de resíduos eletrônicos.

Em seguida, são descritos estudos sobre formas de geração de energia elétrica renováveis não convencionais, sendo apresentadas a energia eólica e a energia solar fotovoltaica. Essas formas de geração contribuem para o desenvolvimento sustentável, uma vez que geram energia elétrica utilizando recursos naturais não finitos, o vento na geração eólica e o sol na geração fotovoltaica.

Além disso, neste exemplar são expostos artigos que contemplam diversas áreas da engenharia elétrica, como redes smart grids, sistema de proteção, operação remota de usinas hidrelétricas, inteligência computacional aplicada a usina termelétrica, transformadores de potência, linhas de transmissão, tarifa horária, lâmpadas led, prevenção de acidentes em redes de média tensão e eficiência energética.

**Jaqueline Oliveira Rezende**

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
O PARADIGMA INTERDISCIPLINAR DO DESENVOLVIMENTO AMBIENTALMENTE SUSTENTÁVEL	
<i>Tiago Borga</i>	
<i>Rodrigo Regert</i>	
<i>Ludimar Pegoraro</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>15</b>
SUSTENTABILIDADE, RECICLAGEM E MEIO AMBIENTE: A RELEVÂNCIA DA LOGÍSTICA	
<i>Welleson Feitosa Gazel</i>	
<i>Wesley Gomes Feitosa</i>	
<i>Antônio Adriano Alves de Souza</i>	
<i>Jeremias Monteiro Vaillant Junior</i>	
<i>Maria de Nazaré Souza Nascimento</i>	
<i>Márcio Costa</i>	
<i>Marcos José Alves Pinto Junior</i>	
<i>Carlos Renato Montel</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>32</b>
A CONTRIBUIÇÃO DO SISTEMA DE CONTAS ECONÔMICAS E AMBIENTAIS PARA ESTIMAR OS CUSTOS AMBIENTAIS NOS EMPREENDIMENTOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	
<i>Adriana Maria Dassie</i>	
<i>José Eustáquio Diniz Alves</i>	
<i>David Montero Dias</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>42</b>
LEVANTAMENTO DOS IMPACTOS INERENTES À IMPLANTAÇÃO DE PCHS E IDENTIFICAÇÃO DO CUSTO DE OPORTUNIDADE NO RIO COXIM, MS, BRASIL	
<i>Thiago Oliveira Barbosa</i>	
<i>Poliana Ferreira da Costa</i>	
<i>Bruna Souza dos Santos</i>	
<i>Adriana Maria Güntzel</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>57</b>
MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A AMPLIAÇÃO DAS SÉRIES DE DADOS DISPONÍVEIS, E AS POSSÍVEIS ALTERAÇÕES NO DIMENSIONAMENTO DE VERTEDORES	
<i>Marcos Vinicius Andriolo</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>66</b>
RECUPERAÇÃO SUSTENTÁVEL DO ENTORNO DE RESERVATÓRIOS DE HIDRELÉTRICAS: UM ESTUDO NA UHE CORUMBÁ IV	
<i>Jorge Santos Ribas Jr.</i>	
<i>José Roberto Ribas</i>	
<i>Tatiana Maria Soeltl</i>	
<i>André Nicolau Brylynskyi</i>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>81</b>
LT 500 KV ARA-TAU: COMO O LICENCIAMENTO AMBIENTAL PODE PROPICIAR A CONSERVAÇÃO DA ESPÉCIE AMEAÇADA <i>CALLITHRIX AURITA</i> (SAGUI-DA-SERRA-ESCURO)	
<i>Jéssica Motta Luiz Bom</i>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>95</b>
NOVAS DIMENSÕES DA GOVERNANÇA DO SETOR ENERGÉTICO BRASILEIRO	
<i>Fernando Amaral de Almeida Prado Jr.</i>	
<i>Ana Lúcia Rodrigues da Silva</i>	

<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>107</b>
A GOVERNANÇA COMO INSTRUMENTO DE POLÍTICA PÚBLICA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL	
<i>Denise Pereira Barros</i>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>120</b>
O ACORDO DE PARIS E OS NOVOS CAMINHOS PARA A GESTÃO SOCIOAMBIENTAL: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA AS EMPRESAS DO SETOR ELÉTRICO	
<i>Gustavo André Santana de Sá</i> <i>Pedro Magalhães Sobrinho</i>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>133</b>
OS CRITÉRIOS ENERGÉTICO-ECONÔMICOS UTILIZADOS NO PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: REFLEXÕES SOBRE ALGUNS MITOS E A NECESSIDADE DE UMA NOVA AGENDA	
<i>Luiz Claudio Gutierrez Duarte</i>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>151</b>
MITIGAÇÃO DO RISCO HIDROLÓGICO- LEILÃO DE COMPRA E VENDA DE ENERGIA NA MODALIDADE SWAP DA ELETRONORTE	
<i>Ivan Rezende</i> <i>Virginia Fernandes Feitosa</i> <i>João David Resende</i> <i>Dante de Castro Simplicio</i> <i>Rafael Capistrano dos Santos Stanzani</i> <i>Gervásio Nery De Albuquerque</i>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>159</b>
A INOVAÇÃO TECNOLÓGICA COMO RESULTADO DO APROVEITAMENTO DO CAPITAL INTELECTUAL PROTEGIDO PELO DIREITO DA PROPIEDADE INTELECTUAL – UM VETOR DE AUMENTO DE RECEITA EM POTENCIAL	
<i>Fernando da Silva Jansen</i>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>174</b>
O CUSTO E A ESTRUTURA DE CAPITAL PARA A INDÚSTRIA DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRA: ASPECTOS METODOLÓGICOS E APLICAÇÕES	
<i>Luiz Claudio Gutierrez Duarte</i> <i>Washington Blanco</i>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>188</b>
GESTÃO DE CUSTOS EMPRESARIAIS NO NEGÓCIO TRANSMISSÃO	
<i>Ana Rita Xavier Haj Mussi</i> <i>Marcos Paulo Boaventura Severino Rezende</i>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>202</b>
GESTÃO E GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS PROVENIENTES DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS EM GARANHUNS-PE	
<i>Rosalva Raimundo da Silva</i> <i>José Romenik de Almeida</i> <i>Marcela Caroline S F Azevedo</i> <i>Maria Claudjane J. L. Alves</i>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>213</b>
METODOLOGIA PARA O PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO CONSIDERANDO A INSERÇÃO DE GERAÇÃO EÓLICA EM LARGA ESCALA NA MATRIZ ELÉTRICA NACIONAL	
<i>Sérgio Pinheiro dos Santos</i> <i>Fernando Rodrigues Alves</i>	

*Antônio Roseval Ferreira Freire  
Ronaldo Ribeiro Barbosa de Aquino  
Otoni Nóbrega Neto  
Pedro Alves de Melo*

**CAPÍTULO 18 ..... 225**

GRUPO GPT, GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS  
COMPARAÇÃO DE CÁLCULO DE PRODUÇÃO EÓLICA UTILIZANDO WASP, OPENWIND E WINDSIM EM  
TERRENO COMPLEXO NA BAHIA, BRASIL

*Daniel Agnese Ramos  
Vanessa Gonçalves Guedes  
Angelo Alberto Mustto Cabrera  
Sérgio Roberto Ferreira Cordeiro de Melo  
Wady Abrahamo Cury Netto  
Tulio Anselmo dos Santos Valentim*

**CAPÍTULO 19 ..... 235**

A INFLUÊNCIA, SOB O ASPECTO DE CURTO-CIRCUITO, DE GERADORES EÓLICOS NO SISTEMA  
ELÉTRICO DE POTÊNCIA.

*Eloi Rufato Junior  
Lucas Marino Bianchessi Sganzeta  
William Da Veiga*

**CAPÍTULO 20 ..... 247**

PLATAFORMA DE AQUISIÇÃO E CONTROLE IOT INTEGRADO A SISTEMA DE GERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA

*Caio Castro Rodrigues  
Joice Machado Martins  
Layse Pereira do Nascimento  
João Vitor Natal Silva Quincó Maciel  
Otavio Andre Chase  
José Felipe Souza de Almeida*

**CAPÍTULO 21 ..... 258**

DETERMINAÇÃO DE PROCESSOS PARA LEVANTAMENTO PRÁTICO DAS CURVAS  
CARACTERÍSTICAS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

*Jaqueline Oliveira Rezende  
Sebastião Camargo Guimarães Júnior*

**CAPÍTULO 22 ..... 272**

ANÁLISE DO PAYBACK DE UM GERADOR FOTOVOLTAICO EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR  
NO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

*Samara Iasmim Schardong  
Andréia Balz  
Fábio Augusto Henkes Huppés  
Mauro Fonseca Rodrigues*

**SOBRE A ORGANIZADORA ..... 283**

## ANALISE DO PAYBACK DE UM GERADOR FOTOVOLTAICO EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR NO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

### **Samara Iasmim Schardong**

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

Santa Rosa – Rio Grande do Sul

### **Andréia Balz**

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

Santa Rosa – Rio Grande do Sul

### **Fábio Augusto Henkes Huppés**

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

Santa Rosa – Rio Grande do Sul

### **Mauro Fonseca Rodrigues**

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

Santa Rosa – Rio Grande do Sul

**RESUMO:** A busca por alternativas de geração de energia renovável traz a discussão de um dos métodos de geração de energia elétrica, ainda pouco aproveitada no Brasil, as fontes fotovoltaicas, que podem suprir boa parte da demanda em crescimento. Assim, é importante ressaltar os benefícios que a instalação de fontes de geração fotovoltaica podem ocasionar aos usuários que implantem o sistema em suas residências. A pesquisa em questão busca através de um estudo de caso de uma residência unifamiliar, analisar a viabilidade de instalação por meio de uma análise de custo-

benefício e o tempo de retorno da instalação de energia fotovoltaica em uma casa padrão, comparando os resultados entre os sistemas monofásico, bifásico e trifásico. Os resultados obtidos na análise apresentam o tempo de retorno, verificando se ele ocorre antes de 20 anos de utilização. O sistema que apresentou menor tempo de retorno foi o monofásico. Além disso, o estudo traz resultados referentes ao Valor Presente Líquido (VPL) e a TIR (Taxa Interna de Retorno) para os três sistemas em análise.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia Fotovoltaica; Tempo de retorno; Gerador Fotovoltaico.

**ABSTRACT:** The search for alternative renewable energy generation brings the discussion of one of the methods of electric power, still little used in Brazil, is through photovoltaic sources, which can supply a good part of the growing demand. Thus, it is important to highlight the benefits that the installation of photovoltaic generation sources can cause to the users that implant the system in their residences. The research in question seeks, through a case study of a single family dwelling, to analyze the feasibility of installation, through a cost-benefit analysis and the time of return, of the installation of photovoltaic energy in a standard house, comparing the between single-phase, two-phase and three-phase systems.



The results obtained in the analysis, were seek to present the time of return, verifying if it occurs before 20 years of use. The system that presented the least return time was the single phase. In addition, the study presents results regarding the Net Present Value (NPV) and the IRR (Internal Rate of Return) for the three systems under analysis.

**KEYWORDS:** Photovoltaics; Response Time; Photovoltaic Generator.

## 1 | INTRODUÇÃO

O consumo energético no mundo se baseia principalmente em fontes consideradas não renováveis, ou seja, o petróleo, carvão mineral e o gás natural. A busca por fontes renováveis de energia se desencadeou devido ao avanço do aquecimento global, causado, principalmente, devido aos combustíveis fósseis e ao processo de escassez destes, que irá ocorrer futuramente. (SHAYANI; OLIVEIRA; CAMARGO, 2006).

As energias renováveis são aquelas que possuem ciclos de renovação natural, sendo uma delas provenientes da energia solar, considerada como uma fonte primária. Nessa categoria se encontram a energia eólica, de biomassa e a solar, ou seja, fontes de energia que se regeneram de forma cíclica em um tempo reduzido. (PACHECO, 2006). Além disso, o processo de aproveitamento energético dessas fontes é instantâneo, ou seja, ou ela é convertida no momento da ocorrência ou é totalmente perdida (FARRET, 2010).

De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), a energia solar não é renovável, mas sim inesgotável, sendo dessa forma, uma das alternativas para geração de energia mais promissora da atualidade. A demanda de energia elétrica vem crescendo a cada ano, principalmente devido ao aumento do uso de aparelhos de ar-condicionado. Esse crescimento na demanda de energia se mostra principalmente no verão, no horário das 12 e 15 horas, horário esse, que coincide com a disponibilidade de uma elevada radiação solar, essencial para a geração fotovoltaica. (PEREIRA, 2017).

Nesse sentido, o presente trabalho em estudo busca analisar a energia fotovoltaica e sua viabilidade de instalação, analisando o custo-benefício, e o tempo de retorno do investimento (PayBack), quando instalado o sistema de geração em uma residência unifamiliar. Considerando um gerador implantado na cidade de Três de Maio – RS em uma casa de padrão e consumo médio e ainda comparar esse PayBack para os sistemas mono, bi e trifásico.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Potencial Fotovoltaico no Brasil

Segundo Pacheco (2006), o Brasil possui um ótimo índice de radiação solar,

principalmente se tratando da Região Nordeste, com altos valores de geração solar fotovoltaica, devido à sua localização. No entanto, os painéis possuem perda de eficiência com aquecimento, o que faz zonas de clima temperado, como o Sul, também terem um potencial significativo. No Brasil, a pior área de irradiação solar é ainda 40% superior à melhor área da Alemanha. (RODRIGUES, 2013).

Atualmente, a Alemanha é uma das pioneiras quando o quesito é utilização de energia solar distribuída, isso porque na década de 90 promoveu um programa que visava à instalação de painéis fotovoltaicos conectados à rede em cerca de 1.000 telhados, chegando a 2.250 equipamentos, sendo que a potência por telhado alcançou 2,6 kW, atingindo mais de 40 cidades. (SHAYANI; OLIVEIRA; CAMARGO, 2006).

Outro país que criou seu próprio programa de instalação foi os Estados Unidos, cujo programa previa 1.000.000 de telhados solares até o ano de 2010, incluindo geração fotovoltaica, aquecimento de água e aquecimento de piscina. (SHAYANI; OLIVEIRA; CAMARGO, 2006).

A principal dificuldade encontrada ao tentar expandir e tornar popular o setor solar no mercado é o fato de que os custos iniciais são bastante elevados. Porém, é importante analisar que em longo prazo, os painéis fotovoltaicos podem ser economicamente viáveis, e apresentar vantagens, levando em consideração que não é necessário pagar a taxa de transmissão à concessionária, ou seja, é uma fonte livre de impostos, na maioria dos Estados brasileiros. (CABRAL, 2012).

Os geradores solares que são integrados às edificações, tem uma geração descentralizada de energia elétrica, injetando na rede elétrica pública qualquer energia gerada, a fim de compensar em períodos noturnos ou quando a energia fotogerada é insuficiente para atender a instalação consumidora. (PEREIRA, 2017).

A Figura 1 ilustra um mapa que apresenta o rendimento energético anual máximo, em todo o Brasil, e a partir dela pode-se ver que a Região Noroeste do Rio Grande do Sul, pode gerar cerca de 1450 a 1500 kWh/kWp.ano, admitindo uma taxa de desempenho de 80% para os geradores fixos e pela distribuição da população brasileira. (PEREIRA, 2017).

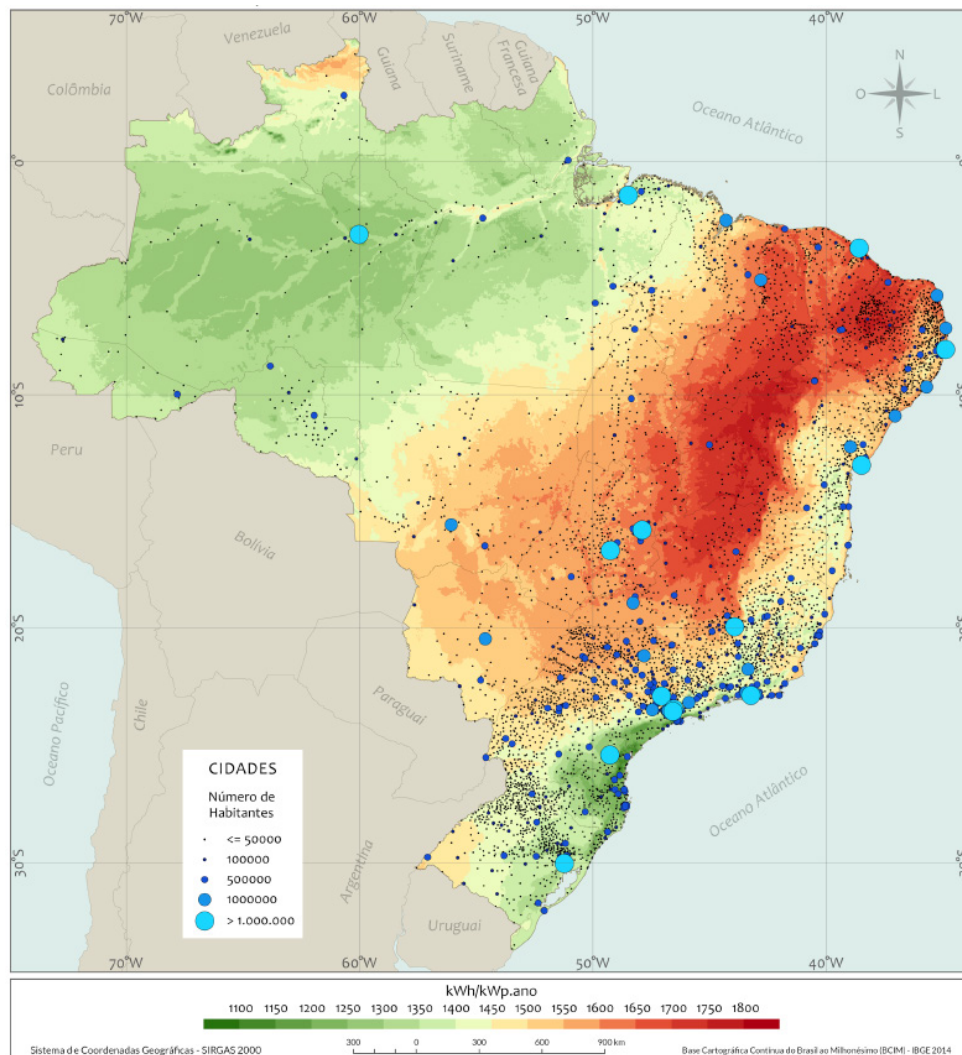


Figura 1 - Potencial de Geração Solar Fotovoltaica

Fonte: PEREIRA (2017).

Quanto à geração de energia solar no sul do país, não há grandes geradores de energia fotovoltaica. O Rio Grande do Sul – RS está desenvolvendo algumas políticas públicas para reverter esse cenário, entre elas, incentivar o desenvolvimento da indústria produtora para aumentar sua competitividade e aperfeiçoar os regulamentos de operação e custos da geração, tornando-a mais atrativa para o consumidor. (SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA, 2018). Um destes incentivos é a lei estadual Nº 14898 de julho de 2016 institui a Política Estadual de Incentivo ao Aproveitamento da Energia Solar, criada para incentivar a geração fotovoltaica no estado.

## 2.2 PayBack e Taxa Mínima Atrativa

O PayBack consiste em medir o tempo necessário para recuperar o capital investido, a partir de um fluxo de caixa do projeto. Teoricamente toda utilização de dinheiro deveria estar sujeita à compensação de juros, mas muitas vezes despreza-se o juro, pois, o objetivo principal do cálculo do PayBack é o tempo em si para retornar àquele montante inicialmente investido. (HIRSCHFELS, 2000).

O método do PayBack descontado informa quando se dará o retorno do capital

investido, considerando o dinheiro no tempo, ou seja, uma Taxa Mínima Atrativa. A necessidade de elaboração de um fluxo de caixa, expressa as entradas e saídas monetárias referentes a um determinado período. (MALLMANN, 2012)

A taxa mínima atrativa (TMA) é utilizada como parâmetro para aceitação ou rejeição de um determinado projeto, é o mínimo a ser alcançado para que ele seja economicamente viável. Lapponi, 2007 explica que TMA é a taxa mínima de juro que a empresa exige para aceitar um projeto, também conhecida como custo de oportunidade.

### **2.3 VPL e TIR**

O VPL – Valor Presente Líquido é o valor presente de fluxo de caixa já definido. Ou seja, é a soma dos valores presentes de entrada menos os valor presentes de saída. A taxa utilizada é a taxa de atratividade, assim ele pode ser interpretado como uma medida do valor presente da riqueza futura gerada pelo projeto. (PUCCINI, 2011)

A taxa interna de retorno (TIR) é muito importante para analisar os investimentos, ela é definida como a taxa de juros que torna nulo o valor presente em um fluxo de caixa. Pode se dizer que é uma taxa de desconto que iguala, em um dado momento, os valores de entrada e saída, assim se a TIR superar a Taza Mínima de Atratividade (TMA) o investimento é considerado como economicamente atraente. (PUCCINI, 2011)

## **3 | METODOLOGIA**

Esse artigo busca analisar matematicamente o tempo de retorno (PayBack) da geração fotovoltaica em uma residência unifamiliar, considerando uma casa de padrão e consumo médio adotando os sistemas mono, bi e trifásico de energia, comparando-os.

### **3.1 Gerador Fotovoltaico em Estudo**

O gerador avaliado nesse estudo está implantado em uma unidade residencial na cidade de Três de Maio – RS, submetida à concessionária RGE Sul (Rio Grande Energia). Possui 9 placas de 275 W cada uma, com inversor de 2,5 kW. O custo total de implantação foi de R\$ 20.000,00 e instalado em agosto de 2015. Com três anos de uso ainda não houve necessidade de gastos com manutenção, e a sua produção anual está representada no Gráfico 1.

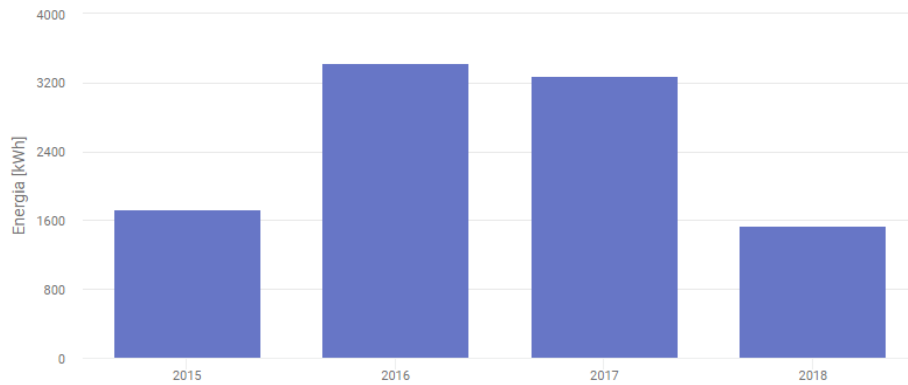


Gráfico 1 – Produção Anual de Energia

O Gráfico 1 permite observar o rendimento de cada ano, sendo produzido em 2015 um equivalente a 1721,90 kWh, levando em conta que a instalação se deu no mês de junho; em 2016 foi gerado um total de 3430,70 kWh; no ano de 2017 a produção alcançou 3280,90 kWh; e, em 2018, até o dia 21 de junho, foi produzido 1535,76 kWh. Esses dados são adquiridos através do aplicativo Fronius, o qual permite o cadastro da geração fotovoltaica e fornece alguns dados referentes a ela. Esse aplicativo também indica que em termos de economia de CO<sub>2</sub> total, já se deixou de emitir um total de 5,28 toneladas.

Mesmo se esse gerador produzir acima do consumo mensal a conta de energia jamais vai zerar, devido ao custo de disponibilidade, que sempre será o mínimo cobrado pela distribuidora. Se gerar a mais que o consumo, a energia excedente será injetada na rede, essa pode ser compensada em outras unidades consumidoras de mesmo CPF. Esse crédito energético só é gerado se o total de energia injetada na rede for superior ao total de energia consumida, isso é redigido pela Resolução Normativa N° 687/2015 (ANEEL, 2015).

O custo de disponibilidade, que é o valor mínimo que se paga para a distribuidora pelo fato da mesma estar disponibilizando a energia, varia conforme o sistema implantado em cada residência. A Resolução Normativa 414/2010 da ANEEL, Art. 48. define esses preços em moeda corrente de: 30 kWh para monofásico ou bifásicos a 2 condutores; 50 kWh para bifásico a 3 condutores e 100 kWh se o sistema for trifásico. Na residência em estudo o sistema implantado é trifásico, o consumo mensal médio entre junho de 2017 a junho de 2018 está apresentado no Quadro 1.

Mês	Consumo (kWh)	Dia	Valor Mensal	Valor Mensal com Taxa de Disponibilidade
jun/17	285	29	R\$ 421.96	R\$ 568.96
jul/17	260	33	R\$ 385.21	R\$ 532.21
ago/17	190	29	R\$ 282.31	R\$ 429.31
set/17	229	32	R\$ 339.64	R\$ 486.64
out/17	218	29	R\$ 323.47	R\$ 470.47
nov/17	235	31	R\$ 348.46	R\$ 495.46
dez/17	240	32	R\$ 355.81	R\$ 502.81
jan/18	247	30	R\$ 366.10	R\$ 513.10
fev/18	230	29	R\$ 341.11	R\$ 488.11
mar/18	209	32	R\$ 310.24	R\$ 457.24
abr/18	230	29	R\$ 341.11	R\$ 488.11
mai/18	231	30	R\$ 342.58	R\$ 489.58
jun/18	256	32	R\$ 379.33	R\$ 526.33
<b>Total</b>	<b>3060</b>		<b>R\$ 4,537.31</b>	<b>R\$ 6,448.35</b>
<b>Média</b>	<b>231</b>		<b>R\$ 342.58</b>	<b>R\$ 489.58</b>

Quadro 1 – Consumo da Residência Unifamiliar entre os anos de 2017 e 2018

Pelo Quadro 1, pode-se verificar que a residência unifamiliar possui um consumo médio mensal de 231 kWh, estando classificada como residencial convencional e estabelecendo as taxas de PIS de 1,2%, COFINS de 6,01%, ICMS de 30% e tarifa da concessionária em R\$ 0,547, assim chegando a uma taxa de R\$ 1,47005 por kWh, mais R\$ 3,00 para iluminação pública cobrada pela prefeitura municipal e o custo de disponibilidade da modalidade trifásica. Nos valores apresentado não está sendo consideradas as bandeiras tarifárias que acrescem os valores de R\$ 0,010 por kWh para a bandeira amarela, R\$0,030 por kWh para bandeira vermelha – patamar 1 e R\$ 0,050 por kWh para o patamar 2.

### 3.2 Cálculo do PayBack

Usando uma taxa mínima de juros, ou TMA (Taxa Mínima Atrativa) adequada, no estudo busca-se 8% ao ano de inflação energética, obtendo-se o prazo que o equipamento deve estar em funcionamento para haver retorno. Esse prazo de retorno necessita ser menor que a vida útil do equipamento, no caso um gerador fotovoltaico possui garantia de 20 anos no mínimo, obtendo um resultado de retorno do capital menor que 20 anos o gerador obteria resultados positivo, lucro. Para esse cálculo utiliza-se a Equação 1, do livro de Hirschfeld, 2000. O Payback descontado considera uma taxa de juros remunerativa para o capital investido, diferente do payback simples que não aplica o custo do capital.

$$VPL = -P + \sum_1^{n'} F_j \left( \frac{P}{F}, i\%, n' \right) = 0$$

Equação 1 – Cálculo do PayBack Descontado

Na Equação 1 observa-se que para encontrar o valor de  $n'$ , o valor do VPL (valor presente líquido) deve ser igual a zero. Assim por meio de tentativa e erros, pode-se encontrar o tempo de retorno. Também se faz necessário à definição dos fluxos de caixa, que segundo Hirschfels, 2000 é a apreciação das contribuições monetárias (entradas e saídas de dinheiro).

Para o PayBack do gerador fotovoltaico, elaborou-se três fluxos de caixa, um para cada sistema (mono, bi e trifásico), como apresentados nas Figuras 2, 3 e 4, respectivamente.



Figura 2 – Fluxo do custo da energia em uma residência unifamiliar monofásica



Figura 3 – Fluxo do custo da energia em uma residência unifamiliar bifásica:

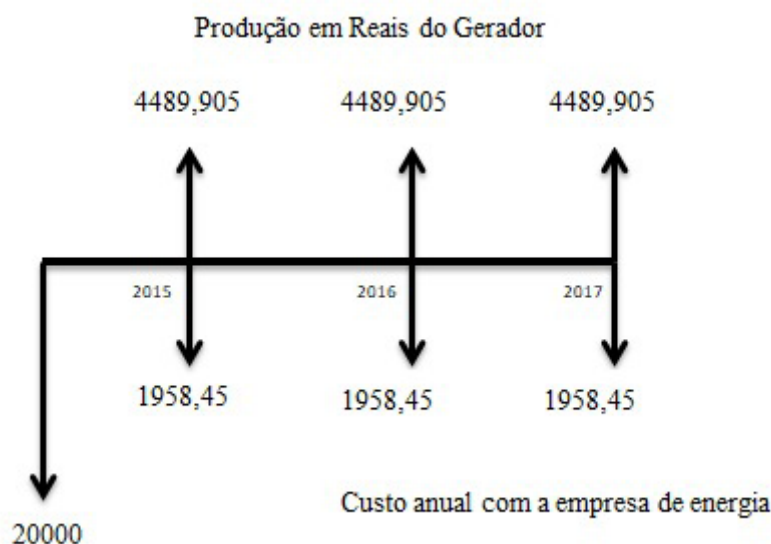


Figura 4: Fluxo do custo da energia em uma residência unifamiliar trifásica:

Nos fluxos de caixa apresentados anteriormente, é considerado um custo anual médio, baseado no consumo anual de junho de 2017 até junho de 2018 e a produção do gerador é considerada a média dos três primeiros anos de funcionamento.

#### 4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir dos fluxos de caixa obtidos, foi possível realizar cálculos para encontrar os valores de Payback, TIR e VPL, para os três sistemas, monofásico, bifásico e trifásico. Foi considerado um valor de TMA de 8% e valores médios anuais para os sistemas.

No Quadro 2 estão apresentados valores para o sistema monofásico, determinando o tempo de retorno, o valor de TIR e VPL.

Sistema Monofásico							
n	FC	FCD (TMA 8%)	Saldo Final	n	FC	FCD (TMA 8%)	Saldo Final
0	-R\$ 20,000.00	-R\$ 20,000.00	-R\$ 20,000.00	11	R\$ 3,869.19	R\$ 1,659.43	R\$ 7,621.97
1	R\$ 3,869.19	R\$ 3,582.58	-R\$ 16,417.42	12	R\$ 3,869.19	R\$ 1,536.51	R\$ 9,158.48
2	R\$ 3,869.19	R\$ 3,317.20	-R\$ 13,100.22	13	R\$ 3,869.19	R\$ 1,422.69	R\$ 10,581.17
3	R\$ 3,869.19	R\$ 3,071.48	-R\$ 10,028.73	14	R\$ 3,869.19	R\$ 1,317.31	R\$ 11,898.48
4	R\$ 3,869.19	R\$ 2,843.97	-R\$ 7,184.77	15	R\$ 3,869.19	R\$ 1,219.73	R\$ 13,118.21
5	R\$ 3,869.19	R\$ 2,633.30	-R\$ 4,551.47	16	R\$ 3,869.19	R\$ 1,129.38	R\$ 14,247.58
6	R\$ 3,869.19	R\$ 2,438.24	-R\$ 2,113.22	17	R\$ 3,869.19	R\$ 1,045.72	R\$ 15,293.31
7	R\$ 3,869.19	R\$ 2,257.63	R\$ 144.41	18	R\$ 3,869.19	R\$ 968.26	R\$ 16,261.57
8	R\$ 3,869.19	R\$ 2,090.40	R\$ 2,234.81	19	R\$ 3,869.19	R\$ 896.54	R\$ 17,158.10
9	R\$ 3,869.19	R\$ 1,935.56	R\$ 4,170.37	20	R\$ 3,869.19	R\$ 830.13	R\$ 17,988.23
10	R\$ 3,869.19	R\$ 1,792.18	R\$ 5,962.55				

Quadro 2 – Payback do Sistema Monofásico

O tempo de retorno do sistema monofásico resultou em 7 anos, tendo um saldo positivo de R\$ 144,41, sendo que o valor médio anual considerado é de R\$ 3869,19. No cálculo do VPL foi obtido ao final de 20 anos um valor de R\$ 17.988,23 e a TIR



encontrada foi de 18,72%.

No Quadro 3 constam os valores referentes ao sistema bifásico, observados a seguir.

Sistema Bifásico							
n	FC	FCD (TMA 8%)	Saldo Final	n	FC	FCD (TMA 8%)	Saldo Final
0	-R\$ 20,000.00	-R\$ 20,000.00	-R\$ 20,000.00	11	R\$ 3,486.98	R\$ 1,495.50	R\$ 4,893.39
1	R\$ 3,486.98	R\$ 3,228.68	-R\$ 16,771.32	12	R\$ 3,486.98	R\$ 1,384.73	R\$ 6,278.12
2	R\$ 3,486.98	R\$ 2,989.52	-R\$ 13,781.80	13	R\$ 3,486.98	R\$ 1,282.15	R\$ 7,560.27
3	R\$ 3,486.98	R\$ 2,768.07	-R\$ 11,013.73	14	R\$ 3,486.98	R\$ 1,187.18	R\$ 8,747.45
4	R\$ 3,486.98	R\$ 2,563.03	-R\$ 8,450.70	15	R\$ 3,486.98	R\$ 1,099.24	R\$ 9,846.69
5	R\$ 3,486.98	R\$ 2,373.18	-R\$ 6,077.52	16	R\$ 3,486.98	R\$ 1,017.81	R\$ 10,864.50
6	R\$ 3,486.98	R\$ 2,197.39	-R\$ 3,880.13	17	R\$ 3,486.98	R\$ 942.42	R\$ 11,806.92
7	R\$ 3,486.98	R\$ 2,034.62	-R\$ 1,845.52	18	R\$ 3,486.98	R\$ 872.61	R\$ 12,679.54
8	R\$ 3,486.98	R\$ 1,883.90	R\$ 38.39	19	R\$ 3,486.98	R\$ 807.97	R\$ 13,487.51
9	R\$ 3,486.98	R\$ 1,744.36	R\$ 1,782.74	20	R\$ 3,486.98	R\$ 748.12	R\$ 14,235.63
10	R\$ 3,486.98	R\$ 1,615.14	R\$ 3,397.89				

Quadro 3 - Payback do Sistema Bifásico

No sistema bifásico o Payback obtido é de 8 anos, com um saldo positivo de R\$ 38,39, sendo que o valor médio anual considerado é de R\$ 3486,98. No cálculo do VPL foi obtido ao final de 20 anos um valor de R\$ 14.235,63 e a TIR encontrada foi de 16,63%.

A seguir, no Quadro 4, estão apresentados os valores referentes ao Sistema Trifásico.

Sistema Trifásico							
n	FC	FCD (TMA 8%)	Saldo Final	n	FC	FCD (TMA 8%)	Saldo Final
0	-R\$ 20,000.00	-R\$ 20,000.00	-R\$ 20,000.00	11	R\$ 2,531.46	R\$ 1,085.70	-R\$ 1,928.03
1	R\$ 2,531.46	R\$ 2,343.94	-R\$ 17,656.06	12	R\$ 2,531.46	R\$ 1,005.28	-R\$ 922.76
2	R\$ 2,531.46	R\$ 2,170.31	-R\$ 15,485.75	13	R\$ 2,531.46	R\$ 930.81	R\$ 8.05
3	R\$ 2,531.46	R\$ 2,009.55	-R\$ 13,476.19	14	R\$ 2,531.46	R\$ 861.86	R\$ 869.91
4	R\$ 2,531.46	R\$ 1,860.69	-R\$ 11,615.50	15	R\$ 2,531.46	R\$ 798.02	R\$ 1,667.94
5	R\$ 2,531.46	R\$ 1,722.87	-R\$ 9,892.63	16	R\$ 2,531.46	R\$ 738.91	R\$ 2,406.84
6	R\$ 2,531.46	R\$ 1,595.25	-R\$ 8,297.39	17	R\$ 2,531.46	R\$ 684.17	R\$ 3,091.02
7	R\$ 2,531.46	R\$ 1,477.08	-R\$ 6,820.31	18	R\$ 2,531.46	R\$ 633.49	R\$ 3,724.51
8	R\$ 2,531.46	R\$ 1,367.67	-R\$ 5,452.64	19	R\$ 2,531.46	R\$ 586.57	R\$ 4,311.08
9	R\$ 2,531.46	R\$ 1,266.36	-R\$ 4,186.28	20	R\$ 2,531.46	R\$ 543.12	R\$ 4,854.20
10	R\$ 2,531.46	R\$ 1,172.55	-R\$ 3,013.73				

Quadro 4 - Payback do Sistema Trifásico

No sistema trifásico o Payback resultou em 13 anos, com um saldo positivo de R\$ 8,05, sendo que o valor médio anual considerado é de R\$ 2531,46. No cálculo do VPL foi obtido ao final de 20 anos um valor de R\$ 4.854,20 e a TIR encontrada foi de 11,12%. A unidade familiar em estudo se enquadra neste sistema, possuindo o retorno de 13 anos, para seu consumo médio mensal. Pode-se observar também que residência com alto consumo de energia possui um retorno mais rápido do investimento.

## 5 | CONCLUSÃO

Com este estudo percebe-se que a energia fotovoltaica está crescendo em todo o mundo, e fica comprovada a viabilidade de implantação para todos os sistemas conforme o estudo caso. Sendo que o melhor custo benefício encontrado foi para o sistema bifásico, tendo um Payback de 8 anos com uma TIR de 16,63%, e aos 20 anos rendendo 14.235,63, um valor considerável, se comparado com o que, o investimento inicial renderia em uma conta poupança.

Assim, verifica-se a viabilidade de custo – benefício para um gerador fotovoltaico na região noroeste do estado do Rio Grande Sul, sendo que quanto maior o consumo residencial, maior será o seu retorno, sempre levando em consideração os sistemas mono, bi e trifásico para a necessidade da residência.

## REFERÊNCIAS

Agencia Nacional de Energia Eletrica – **ANEEL**. Resolução Normativa 482, 2012.

Balanço Energético Nacional – **BEN**. Empresa de Pesquisa Energética, 2017.

CABRAL, Isabelle; VIEIRA, Rafael. **Viabilidade econômica x viabilidade ambiental do uso de energia fotovoltaica no caso brasileiro**: uma abordagem no período recente. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Goiânia, GO. 2012.

FARRET, Felix Alberto. **Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica**. Editora UFSM, 2ª edição, 2010.

HIRSCHFELD, Henrique. **Engenharia Econômica e Análise de Custos**. São Paulo: Atlas, 2000.

LAPONNI, Juan Carlos. **Projetos de Investimento na Empresa**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

MALLMANN, Roberta. **Análise da Viabilidade de Um Empreendimento de Produção Musical**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2012.

PACHECO, Fabiana. **Energias renováveis**: breves conceitos. Conjuntura e Planejamento. Salvador, BA. 2006. p.4-11.

PEREIRA, Enio Bueno, et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2ª edição. 2017

PUCCINI, Ernesto Coutinho. **Matemática Financeira e Análise de Investimentos**. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2011.

RODRIGUES, Mauro Fonseca. **Instalação de microgeração distribuída com fonte fotovoltaica nas estações de telecomunicações**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2013.

SHAYANI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves de; CAMARGO, Ivan Marques de Toledo. **Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais**. V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Brasília, DF. 2006.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**Jaqueline Oliveira Rezende** Possui graduação em Engenharia Elétrica, com certificado de estudos em Engenharia de Sistemas de Energia Elétrica e mestrado em Engenharia Elétrica, ambos pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Atualmente é aluna de doutorado em Engenharia Elétrica, no Núcleo de Dinâmica de Sistemas Elétricos, pela Universidade Federal de Uberlândia. Atuou como professora nos cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia de Controle e Automação. Tem realizado pesquisas em Sistemas de Energia Elétrica, dedicando-se principalmente às seguintes áreas: Energia Solar Fotovoltaica; Curvas Características de Painéis Fotovoltaicos; Dinâmica de Sistemas Elétricos; Geração Distribuída; Simulação Computacional; Algoritmo Genético.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85107-45-1

