

Subtemas e Enfoques na Sustentabilidade 2



Maria Elanny Damasceno Silva
(Organizadora)

Subtemas e Enfoques na Sustentabilidade 2



Maria Elanny Damasceno Silva
(Organizadora)

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena

Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Secional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliariari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás

Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Alborno – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior

Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará

Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão

Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo

Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadora: Maria Elanny Damasceno Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S941 Subtemas e enfoques na sustentabilidade 2 / Organizadora
Maria Elanny Damasceno Silva. – Ponta Grossa - PR:
Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-659-1

DOI 10.22533/at.ed.591201012

1. Sustentabilidade. I. Silva, Maria Elanny Damasceno
(Organizadora). II. Título.

CDD 363.7

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE USANDO O MÉTODO DE MONTE CARLO APLICADA À INSTALAÇÃO DE UM SFCR

Data de aceite: 01/12/2020

Data de submissão: 01/10/2020

Bruno Polydoro Cascaes

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre – RS
<https://orcid.org/0000-0001-5267-8612>

Letícia Jenisch Rodrigues

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre - RS
<https://orcid.org/0000-0002-8147-0770>

Paulo Smith Schneider

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre - RS
<https://orcid.org/0000-0002-6667-6156>

RESUMO: Este trabalho tem por objetivo realizar uma análise de sensibilidade examinando o impacto de mudanças “in base-case assumptions”, i.e., avaliando a sensibilidade do valor da variável dependente devido a mudanças nos valores de variáveis independentes. O problema decisório desse estudo é a aquisição de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) por uma indústria de pequeno porte hipotética localizada em Porto Alegre. A variável dependente é o valor presente líquido (VPL). As variáveis independentes selecionadas, a partir de uma análise de sensibilidade preliminar, são as seguintes: o custo unitário dos módulos; o valor do kWh; a potência instalada; a compensação em créditos pela energia extra gerada (net-metering); a taxa mínima de atratividade (TMA);

e irradiação total diária inclinada no plano da latitude em média anual. Na sequência, essas são analisadas via simulação, utilizando o Método de Monte Carlo através do software @ Risk. As distribuições associadas às mesmas são obtidas a partir de dados históricos e de mercado. São realizadas 100.000 simulações, das quais apenas 0,4% resultam em valores negativos de VPL. Da análise do diagrama tornado, é possível observar que a TMA é o fator de maior impacto no VPL, seguida pela potência instalada.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede, Análise de Sensibilidade “in base-case assumptions”, Método de Monte Carlo, Sistema de Compensação em Créditos, Net-metering

SENSITIVITY ANALYSIS USING THE MONTE CARLO METHOD FOR A PHOTOVOLTAIC SYSTEM CONNECTED TO THE GRID

ABSTRACT: This work aims to perform a sensitivity analysis examining the impact of changes “in base-case assumptions”, i.e., evaluating the sensitivity of the dependent variable’s value due to changes in the values of independent variables. The decision problem is the acquisition of a photovoltaic system connected to the grid by a hypothetical small industry located in Porto Alegre. The dependent variable is the net present value (NPV). The independent variables selected, from a preliminary sensitivity analysis, are as follows: the unit cost of the modules; the kWh value; the installed power; the compensation in credits for the extra energy generated (net-

metering); the minimum rate of attractiveness (MRA); and total daily irradiation inclined in the latitude plane in annual average. These variables are analyzed via simulation using the Monte Carlo Method in @Risk software. The distributions associated with them are obtained from historical and market data. 100,000 simulations are carried out, of which only 0.4% result in negative NPV values. From the analysis of the tornado diagram, it is possible to observe that MRA is the factor with the greatest impact on NPV, followed by the installed power.

KEYWORDS: Photovoltaic System Connected to the Grid, Sensitivity Analysis in base-case assumptions, Monte Carlo Method, Net-metering.

1 | INTRODUÇÃO

Segundo dados da IEA (*International Energy Agency* – Agência Internacional de Energia) (2020), a política energética brasileira se compara aos desafios mais urgentes do mundo. Isto porque 45% de sua demanda primária de energia é atendida por energias renováveis, com as hidrelétricas sendo responsáveis por cerca de 80% da produção de eletricidade. Essa dependência, majoritariamente associada aos recursos hídricos, apresenta consequências significativas. Por exemplo, em 2018 durante a escassez de chuvas, quando o país atingiu a marca de quinta maior tarifa de eletricidade do mundo (FELIX, 2018). Esses períodos prolongados de estiagem forçaram a ativação de usinas termoeletricas, cuja operação é mais dispendiosa.

Uma alternativa que vem ganhando espaço é a geração distribuída (GD). Principalmente devido à possibilidade de compensação da energia gerada excedente por créditos que são utilizados no abatimento do valor de tarifas posteriores (*net-metering*). Esse tipo de geração atingiu o patamar de 828 GWh em 2018 (EPE, 2019). A energia solar fotovoltaica tem papel de destaque, sendo responsável por mais de 90% da potência instalada (ANEEL, 2019).

Não obstante, a indústria é o setor que mais consome eletricidade no país, chegando a 37,5% do total consumido no ano de 2019 (EPE, 2019). Contudo, a adesão à GD é baixa no setor, que possui cerca de 10% da potência instalada da categoria (ANEEL, 2019). Dentre as diversas razões para essa característica, uma das principais é a concorrência do investimento em um SFCR com outras prioridades elencadas pelo setor industrial (IDEAL, 2019). Adicionalmente, discussões sobre uma possível revisão nas políticas do modelo de compensação de créditos (ANEEL, 2018) pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aumentaram a desconfiança sobre a viabilidade deste tipo de investimento.

Nesse contexto, faz-se necessária uma análise de sensibilidade e dos riscos envolvidos nesse tipo de investimento, tanto para identificar possíveis causas do baixo uso de SFCR (ROUT et al., 2018), como também para estimar benefícios técnicos e econômicos desses sistemas (REZVANI et al., 2017).

Diferentes estudos acerca da viabilidade da aplicação de energia solar podem ser encontrados na literatura. Todavia, a exemplo de um artigo que analisou o risco de investimento em energia solar térmica no Marrocos (BOUHAL et al., 2018), essas análises costumam levar em conta apenas o VPL, a taxa interna de retorno (TIR) e/ou o tempo de retorno do investimento (payback).

Ainda sobre esse tema, autores apontam que um estudo aprofundado, utilizando o Método de Monte Carlo, é vantajoso perante um modelo que aborde apenas estimativas de VPL ou análises de sensibilidade isoladas (ARNOLD; YILDIZ, 2015). O Método de Monte Carlo é uma ferramenta útil e robusta para a avaliação de tecnologias de energias renováveis, bem como de outros temas relevantes. Isso pode ser observado a partir da expressiva variedade de estudos utilizando esse método. São exemplos de algumas aplicações: otimizar a localização de novas plantas de geração de energia (SHORABEH et al., 2019), otimizar fatores geométricos de coletores (HOSEINZADEH et al., 2018), e avaliar e/ou configurar arranjos de coletores para uso em ambientes residenciais (REZVANI et al., 2017; ROUT et al., 2018), etc.

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise de sensibilidade examinando o impacto de mudanças in base-case assumptions, i.e., avaliando a sensibilidade do valor da variável dependente devido a mudanças nos valores de variáveis independentes. O problema decisório é a aquisição de um SFCR por uma indústria de pequeno porte hipotética localizada na cidade de Porto Alegre. Valores de base foram utilizados para a determinação do VPL e posterior análise de sensibilidade do mesmo, frente às suas principais variáveis independentes. Assim, foram determinadas aquelas que produziam maior impacto. Na sequência, essas foram avaliadas utilizando o Método de Monte Carlo, cujo objetivo era apresentar o VPL do projeto, bem como a distribuição dos resultados do mesmo.

2 | ASPECTOS GERAIS

Sistemas de GD são definidos, segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE, 2020) como aqueles nos quais a geração ocorre próxima à unidade consumidora (UC). Possuem a vantagem de reduzir a necessidade de investimentos em sistemas de transmissão, e, conseqüentemente, reduzir as perdas associadas. Os SFCR encaixam-se nessa classificação, visto que a energia que não é consumida pela UC é enviada à rede, sendo distribuída a outros usuários.

A Resolução Normativa da ANEEL N°. 482/2012 (ANEEL, 2012) inicia a regulamentação da microgeração e da minigeração de energia elétrica - Geração Distribuída (GD) – no Brasil. Em 2015 essa regulamentação foi revista para simplificar e agilizar o processo de geração de energia, utilizando energia solar - a

Resolução Normativa N°687/2015 (ANEEL, 2015). O sistema de compensação de energia também é chamado de *net metering*. Nesse sistema a UC cede sua energia gerada à distribuidora local, sendo compensada com o consumo de energia elétrica ativa. Essa compensação se dá na forma de créditos, com validade de 60 meses.

Os créditos podem ser utilizados em endereços diferentes, contanto que as UC se encontrem na área de cobertura de uma mesma distribuidora. Para que se enquadrem no sistema de compensação de energia, as unidades geradoras têm suas potências limitadas a 75 kW, para o caso de microgeração fotovoltaica, e a 5 MW, no caso de minigeração fotovoltaica.

3 I ESTUDO DE CASO

Para este trabalho, a indústria localizada em Porto Alegre está sujeita às tarifas de energia elétrica do grupo B3 (CEEE, 2019). O cálculo do preço final da energia foi realizado com base em dados históricos (CEEE, 2019), obtendo-se a média dos últimos dez anos. O SFCR avaliado é composto por módulos fotovoltaicos da marca *Canadian Solar*, modelo CS3U-385, com eficiência de 19,41 % (Canadian Solar, 2019). O preço dos módulos foi obtido através de pesquisa em sites de distribuidores (IDEAL, 2019; MCS, 2019; Cineshop, 2019). O montante total, da instalação e do SFCR, foi estimado de maneira que o valor dos módulos equivalesse a 40% do custo total do sistema (IDEAL, 2019). Como fator limitante, foi considerado que o sistema pertence à categoria de microgeração, com potência instalada inferior a 75 kWp (ANEEL, 2015).

Por fim, alterações na política do modelo de compensação de energia também foram consideradas. Partiu-se do caso atual, no qual o valor da energia entregue à rede tem o mesmo valor que a energia consumida posteriormente. A partir dessa igualdade, foi se reduzindo a relação até que o valor da energia entregue à rede fosse equivalente a 70% do valor da energia consumida da rede. Ou seja, cada dez créditos gerados equivalem a sete créditos consumidos posteriormente.

3.1 Análise de sensibilidade

A fim de se determinar os fatores de maior impacto no VPL, foi realizada uma análise de sensibilidade preliminar - um método quantitativo que permite observar o efeito da mudança de cada variável independente na variável dependente. Para sua implementação, segundo KARANOVIC et al. (2010), deve-se determinar um valor base para cada uma das variáveis independentes, Tab. 1. Desta forma, quando da avaliação através do Método de Monte Carlo, pode-se evitar um número excessivo de variáveis independentes que apresentem pouca influência na variável dependente. Esses valores também foram usados como ponto central na simulação.

O VPL do projeto, utilizando os valores base, foi calculado em R\$ 416.140,63. Em seguida, esses valores base foram variados individualmente, a uma mesma taxa, enquanto os demais permaneceram constantes. Assim, a influência de cada um na variável dependente pôde ser observada, Fig. 1. Quanto mais horizontal é a linha de sensibilidade, menos impacto aquela variável tem no VPL.

Assim, tanto os custos com operação e manutenção (O&M), quanto a inflação apresentaram baixa influência no VPL, Fig. 1. Por outro lado, a TMA do investimento apresentou a maior influência, seguida pelo valor do kWh, a irradiação total diária inclinada no plano da latitude em média anual e a compensação em créditos pela energia extra gerada (*net-metering*). O custo dos módulos e a potência instalada também influenciaram de maneira significativa, de forma que também foram incluídos na simulação utilizando o Método de Monte Carlo. Por fim, cabe salientar que o VPL se manteve positivo em todos os casos avaliados na análise de sensibilidade preliminar.

Variável de entrada	Valor
Custo do módulo	R\$ 916,30
Valor do kWh	R\$ 0,7785
Potência instalada	60 kW _p
Custos com Operação e Manutenção (O&M)	1%
Compensação de créditos (<i>net-metering</i>)	90%
TMA	15%
Inflação	5%
Irradiação média diária	4.228 kWh/m ²

Tabela 1 – Varáveis independentes e respectivos valores base.

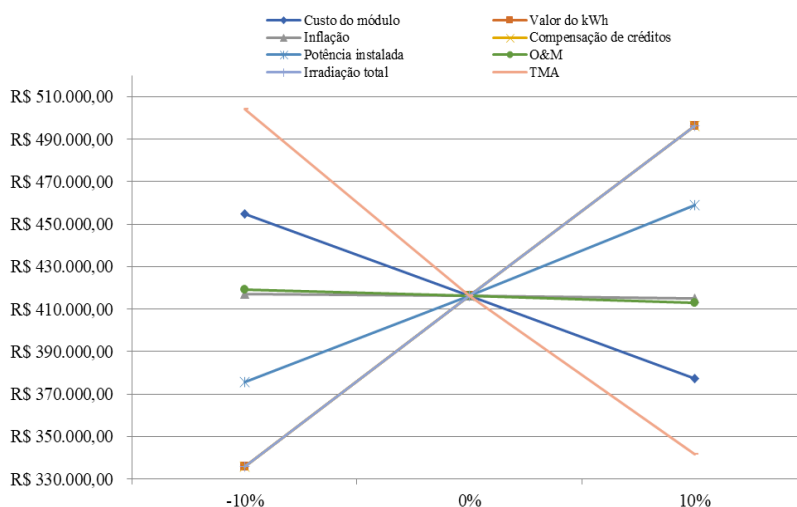


Figura 1 – Análise de sensibilidade preliminar do VPL em relação às variáveis independentes.

3.2 Simulação utilizando o Método de Monte Carlo

O Método de Monte Carlo consiste em um algoritmo computacional que randomiza as amostras, segundo distribuições de probabilidade, para calcular a variável dependente. Ele tem aplicações em problemas físicos, matemáticos e financeiros (HOSEINZADEH et al., 2018). A principal vantagem desse método, frente à análise de sensibilidade preliminar, é a possibilidade de se testar inúmeras combinações das variáveis independentes, simultaneamente, gerando uma distribuição para o valor esperado da variável dependente (KARAVONIC, 2010).

A simulação foi realizada utilizando o software @RISK, o qual executa a análise através do Método de Monte Carlo. Os resultados gerados são organizados em planilhas eletrônicas (PALISADE, 2019). As variáveis independentes testadas foram determinadas pela análise de sensibilidade preliminar, apresentada na seção anterior. O intervalo, e a distribuição de probabilidade, utilizado nas mesmas encontra-se detalhado na Tab. 2. A Fig. 2 apresenta um esboço da metodologia utilizada.

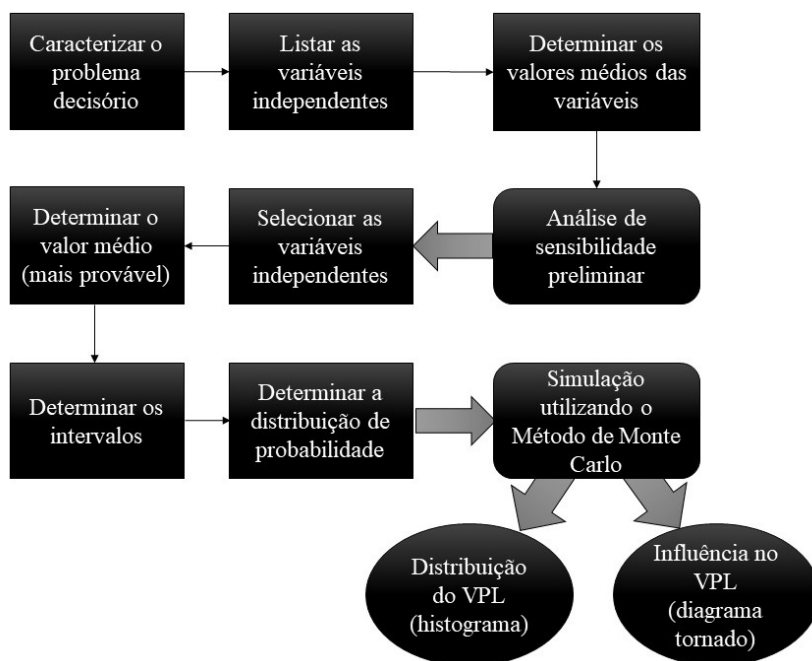


Figura 2 – Esboço da metodologia utilizada para a análise de sensibilidade.

Após 100.000 iterações, o software apresenta a distribuição de valores para a variável dependente, Fig. 3, bem como os valores máximo, mínimo e médio da

mesma. Uma informação importante, quando se observa a Fig. 3, é que existe um distanciamento significativo entre o valor do VPL médio (R\$ 367.237,67) e o VPL máximo (R\$ 1.645.879,06). Outro ponto que merece destaque é o valor mínimo encontrado para o VPL (- R\$ 125.415,18), o qual é negativo, indicando uma situação na qual o projeto não se paga.

Variável	Distribuição	Fonte dos dados
Custo do módulo	Triangular	Fornecedores (Ideal, 2019; MCS, 2019; Cineshop, 2019)
Valor do kWh	Normal	CEEE (2019)
Compensação de créditos	Triangular	ANEEL (2018)
Potência instalada	Triangular	ANEEL (2015)
TMA	Triangular	Instituto IDEAL (2019)
Irradiação média diária	Normal	Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira et al., 2017)

Tabela 2 – Distribuição, e fonte dos dados, utilizada em cada variável independente.

Contudo, a ocorrência de valores negativos foi em apenas 0,4% dos casos, ou seja, 400 iterações de uma amostra de 100.000, indicando que há grande probabilidade do projeto se pagar ao longo do período avaliado, 20 anos. Por outro lado, o distanciamento significativo entre o valor médio e o máximo pressupõe que, na melhor das hipóteses, o VPL ao final do período seria equivalente a quatro vezes e meia o valor do VPL médio.

Outro resultado da simulação é a classificação das variáveis independentes segundo seu efeito na variável dependente. Esta informação é apresentada em um diagrama tornado, Fig. 4, no qual se pode observar que a TMA apresenta a maior influência no VPL. Em seguida, a potência instalada, a compensação em créditos pela energia extra gerada (*net-metering*) e o custo dos módulos apresentam contribuições relevantes. O valor do kWh figura como a quinta variável de maior impacto, sendo seguido pela a irradiação total diária inclinada no plano da latitude

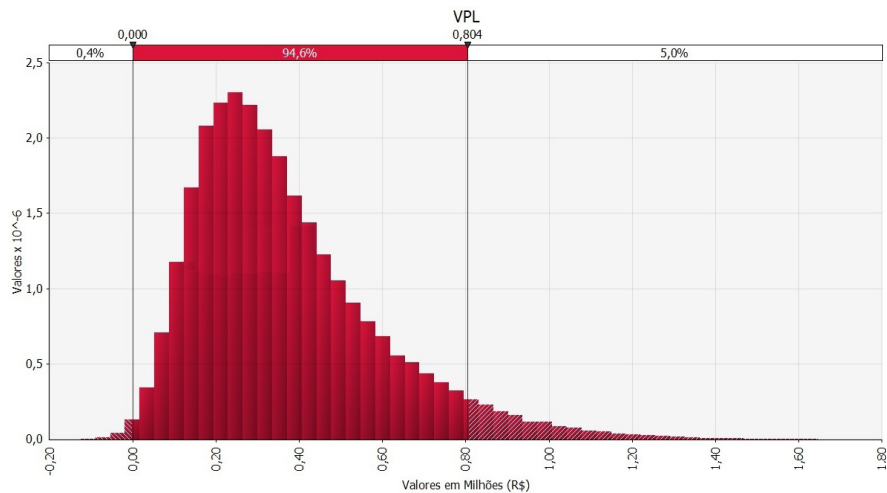


Figura 3 – Distribuição dos valores de VPL obtidos via Simulação de Monte Carlo.

Da análise de sensibilidade preliminar também foi possível observar que a TMA é a variável de maior impacto. Essa característica corrobora a assertiva de baixa adesão ao sistema de GD devido à concorrência do investimento em um SFCR com outras prioridades elencadas pelo setor industrial. Ou seja, a viabilidade da utilização de módulos fotovoltaicos na indústria depende do seu perfil de investimento, de maneira que quanto menor for a TMA de outras opções de investimento, mais atraente será a aquisição de um SFCR.

Por outro lado, a ordem de importância das demais variáveis independentes não foi a mesma. Pelo diagrama tornado, a segunda variável é a potência instalada, a qual está diretamente relacionada à quantidade de módulos fotovoltaicos do sistema. Na análise preliminar, o valor do kWh ocupava essa posição. As demais variáveis também não aparecem na mesma ordem do diagrama. Assim, tem-se que o valor do SFCR é o segundo parâmetro mais impactante no VPL.

Não obstante, a análise de sensibilidade preliminar não previu um valor de VPL negativo, ou seja, aquela situação na qual o investimento não se paga. Embora a análise utilizando o Método de Monte Carlo tenha previsto essa situação, ela ocorreu em apenas 0,4% dos resultados gerados.

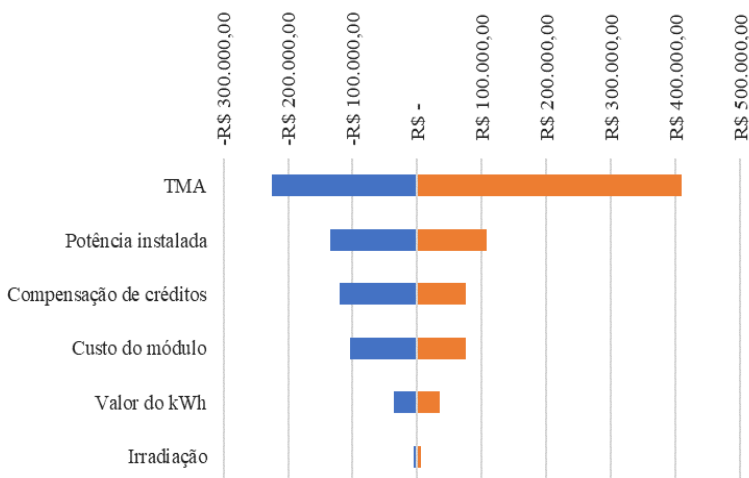


Figura 4 – Diagrama tornado para o VPL.

4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizada uma análise de sensibilidade examinando o impacto de mudanças “*in base-case assumptions*”, i.e., avaliando a sensibilidade do valor da variável dependente devido a mudanças nos valores de variáveis independentes. A aquisição de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) por uma indústria de pequeno porte hipotética localizada em Porto Alegre foi utilizada como problema decisório.

As variáveis independentes foram selecionadas, a partir de uma análise de sensibilidade preliminar, a qual indicou a TMA como sendo a variável de maior impacto no VPL. O software utilizado para as simulações foi o @Risk, com a opção do Método de Monte Carlo para as randomizações. Foram executadas 100.000 simulações, das quais foram encontrados valores negativos para o VPL em apenas 0,4%.

Conforme esperado, a utilização do método estocástico gerou resultados mais robustos, permitindo a avaliação do impacto de cada variável independente no VPL. Contudo, a análise preliminar também indicou a TMA como sendo a variável de maior importância.

Esse comportamento corrobora a baixa adesão ao sistema de GD devido à concorrência do investimento em um SFCR com outras prioridades do setor industrial. A viabilidade da utilização de SFCR na indústria depende do seu perfil de investimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Vapor e Refrigeração (LAFRIG), ao Laboratório de Ensaios Térmicos e Aerodinâmicos (LETA) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PROMEC) da UFRGS. O primeiro autor também agradece ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, na figura da Prof. Dra. Joana Siqueira de Souza por disponibilizar o *software* @RISK ao longo da disciplina de “Análise de Riscos”, no segundo trimestre de 2019, durante o qual este estudo foi realizado. (EPE, 2019)

REFERÊNCIAS

ANEEL. Resolução Normativa nº 687 de 2015 da ANEEL. **ANEEL**, 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>> Acesso em: 17 nov. 2019

ANEEL. Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 0004/2018-SRD/SCG/SMA/ANEEL. **Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº0004/2018-SRD/SGC/SMA/ANEEL**, 2018. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas-antigas>> Acesso em: 17 nov. 2019

ANEEL. **Outorgas e Registros de Geração: Unidades Consumidoras com Geração Distribuída**. 2019. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Estadual.asp>. Acesso em: 10 jan. 2020.

ARNOLD, Uwe; YILDIZ, Özgür. **Economic risk analysis of decentralized renewable energy infrastructures - A Monte Carlo Simulation approach**. Renewable Energy, 2015.

BOUHAL, T. et al. **Technical assessment, economic viability and investment risk analysis of solar heating/cooling systems in residential buildings in Morocco**. Solar Energy, 2018.

CANADIAN SOLAR. **Solar Modules**. Disponível em: <<https://www.canadiansolar.com/productsforutility/>>. Acesso em: 27 nov. 2019.

CEEE. **Tarifas e custos dos serviços**. 2019. Disponível em: <http://www.ceeel.com.br/pportal/ceeel/Archives/Upload/Folder_Grupo_B_2018_60788.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2019.

CINESHOP. **Energia Solar**. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.cineshop.com.br/item/Painel-Solar-365w-Canadian-Monocristalino-Inmetro-18.4-em-eficiencia.html>>. Acesso em: 27 nov. 2019.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2019: Ano base 2018. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2019.**

FELIX, Rosana. **Brasil caminha para ter a energia mais cara do planeta**. 2018. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/economia/brasil-caminha-para-ter-a-energia-mais-cara-do-planeta-86tyszyp8czy77fbcvtovdsq/>> Acesso em 10 nov. 2019.

HOSEINZADEH, Hamed; KASAEIAN, Alibakhsh; BEHSHAD SHAFIL, Mohammad. **Geometric optimization of parabolic trough solar collector based on the local concentration ratio using the Monte Carlo method**. Energy Conversion and Management, 2018.

IDEAL. **O mercado brasileiro de Geração Distribuída fotovoltaica**. 6. ed. Disponível em: <https://issuu.com/idealeco_logicas/docs/o_mercado_brasileiro_de_gera_o_distribu_da_fv_-__e> Acesso em: 27 nov. 2019.

IEA. **IEA - Brazil**. 2020. Disponível em: <<https://www.iea.org/countries/brazil>>. Acesso em: 13 jan. 2020.

INEE. **Sobre GD e Cogeração**. 2020. Disponível em: <http://www.inee.org.br/forum_sobre_gd_cg.asp?Cat=gd>. Acesso em: 13 jan. 2020.

KARANOVIC, Goran. **Techniques for Managing Projects Risk in Capital Budgeting Process**. UTMS Journal of Economics, v. 1, n. 2, p. 55–66, 2010.

MCS. **Produtos**. Disponível em: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/painel-solar-fotovoltaico-385w-canadian-solar-monocristalino-half-cell-79561>>. Acesso em: 27 nov. 2019.

PALISADE. **@RISK**. Versão 8.0. Palisade, 2019.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas Brasileiro da Energia Solar**, 2.ed. São Paulo: INPE, 2017.

REZVANI, S. et al. **Techno-economic and reliability assessment of solar water heaters in Australia based on Monte Carlo analysis**. Renewable Energy, 2017.

ROUT, Auroshis; SAHOO, Sudhansu S.; THOMAS, Sanju. **Risk modeling of domestic solar water heater using Monte Carlo simulation for east-coastal region of India**. Energy, v. 145, p. 548–556, 2018.

SHORABEH, Saman Nadizadeh et al. **A risk-based multi-criteria spatial decision analysis for solar power plant site selection in different climates: A case study in Iran**. Renewable Energy, v. 143, p. 958–973, 2019.

ÍNDICE REMISSIVO

A

- Ação despigmentante 170, 172
- Água tratada 139, 140
- Alimentação do gado 149, 154, 157

B

- Baixas temperaturas 81
- Biomassa residual 159, 163, 164, 165

C

- Cadeia de soluções 95
- Certificações de eficiência energética 27, 28, 31
- Coletores solares evacuados 81
- Companhia Energética de São Paulo 66, 67, 68, 69, 70
- Compensação em créditos 41, 45, 47
- Contaminação de rios 114
- Corpos d'água 107, 124, 126, 127, 130, 133
- Cosméticos sustentáveis 170
- Crescimento populacional 114, 116, 126, 127

D

- Desenvolvimento econômico 16, 20, 24, 95, 96, 100
- Destinação do lodo 139

E

- Edificações 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 67, 112
- Eficiência energética 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 43, 66, 68, 69
- Estabelecimentos comerciais 103
- Estações de tratamento de água 139, 147

G

- Gestão de resíduos 95, 101, 114, 124
- Gramínea Brachiaria 149, 154, 155

I

Impacto de mudanças 41, 43, 49

Instrumento de indução 16

Interdisciplinar 16, 23, 125

L

Laboratório de gastronomia 115, 117

Legislação 24, 27, 95, 130, 178

Locais inapropriados 103

M

Mensuração 118, 149, 152, 153

Metrópoles 2, 14, 139

Monocultivo 159

O

Óleo residual de fritura 103, 106, 108, 111

P

Parâmetros físico-químicos 126, 131, 134

Plantio consorciado 159, 160

Plataforma PSCAD/EMTDC 52

Política nacional de resíduos sólidos 95, 96, 101, 141, 144, 147

Política pública 103

Problemas ambientais 126, 127

Produção de pastagem 149, 152, 157

R

Racionalização 27, 123

Reforma tributária 16, 22

S

Saunas úmidas 82

Sistema fotovoltaico trifásico 52

Sistema solar 80, 82, 85, 90

Software 79

Software PVSYST 52

Software @Risk 41

Substâncias ativas naturais 170, 172, 175

T

Técnicas de cultivo 159

Tecnologia PEM 66

Testes de controle 67

Transbordo de esgoto 114

Tratamento de manchas na pele 170

Tributação ambiental 16, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26

V

Variáveis independentes 41, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49

Subtemas e Enfoques na Sustentabilidade 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Subtemas e Enfoques na Sustentabilidade 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 