

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA:

Conhecimentos didático-pedagógicos
e o ensino-aprendizagem



Milson dos Santos Barbosa
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2022

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA:

Conhecimentos didático-pedagógicos
e o ensino-aprendizagem



Milson dos Santos Barbosa
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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 com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
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 Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
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
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
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. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Ciências exatas e da terra: conhecimentos didático-pedagógicos e o ensino-aprendizagem

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Milson dos Santos Barbosa

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C569 Ciências exatas e da terra: conhecimentos didático-pedagógicos e o ensino-aprendizagem / Organizador Milson dos Santos Barbosa. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0422-4

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.224220408>

1. Ciências exatas - Estudo e ensino. I. Barbosa, Milson dos Santos (Organizador). II. Título.

CDD 507

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



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A coleção “Ciências exatas e da terra: Conhecimentos didático-pedagógicos e o ensino-aprendizagem” é um e-book que tem o intuito de fornecer *insights* sobre metodologias educacionais e aplicações tecnológicas para fomentar e desenvolver processos e produtos inovadores. O volume reúne estudos teóricos e práticos (revisões bibliográficas, relatos de casos, pesquisas científicas, entre outros) envolvendo cálculos matemáticos e afins para solucionar problemas e beneficiar diretamente a sociedade.

Neste contexto, a obra apresenta de maneira objetiva e didática estudos desenvolvidos por docentes e discentes de diferentes instituições de ensino e pesquisa do país. Os artigos englobam desenvolvimentos recentes no campo das tecnologias, energias renováveis, modelagens e simulações computacionais, algoritmos e softwares, bem como máquinas e equipamentos. Outra direção importante fomentada no e-book é abordagem utilizada para difundir os conhecimentos pedagógicos e o ensino científico nas ciências exatas e da terra.

Questões relevantes para a sociedade moderna são, portanto, debatidas a partir de uma perspectiva crítica, trazendo discussões de temáticas da área e propiciando um conhecimento específico e aprofundado para discentes, docentes e pesquisadores. Deste modo, a obra composta por capítulos que abordam múltiplos temas e com conceitos interdisciplinares da área de ciências exatas e da terra. Diante dessa oportunidade de aprendizagem, convido todos os leitores para usufruírem das produções da coletânea. Tenham uma ótima leitura!

Milson dos Santos Barbosa

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1


CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE (CTS) E O ENSINO DE CIÊNCIAS ATRAVÉS DA TECNOLOGIA

Micheline Soares Costa Oliveira

Letícia Martins Nunes

Letícia de Araújo Rodrigues

Hemilly Sales Alburquerque

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204081>

CAPÍTULO 2..... 6

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE COMO AÇÃO DE EXTENSÃO: RELATO DE EXPERIÊNCIA


Luis Fernando Meneghel Benatto

Daniela de Freitas Guilhermino Trindade

Carlos Eduardo Ribeiro

Renata Alfredo

José Reinaldo Merlin

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204082>

CAPÍTULO 3..... 13

A CONCEPÇÃO DOS PROFESSORES DE QUÍMICA EM RELAÇÃO À CONTRIBUIÇÃO DA EXPERIMENTAÇÃO NA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DOS ALUNOS

Tatiana Medeiros Ibiapina


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204083>

CAPÍTULO 4..... 34

O ENSINO DE QUÍMICA E CULTURA: CONCEPÇÕES PRESENTES NA REVISTA QUÍMICA NOVA NA ESCOLA

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua


Rafael Martins Mendes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204084>

CAPÍTULO 5..... 48

CLASSROOM COMO RECURSO TECNOLÓGICO PARA A EDUCAÇÃO EM MATEMÁTICA

Mauricio da Silva Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204085>

CAPÍTULO 6..... 74

PRÁTICAS EXPERIMENTAIS SOBRE POLUIÇÃO SONORA

Maria Lúcia Grillo

Luiz Roberto Perez Lisbôa Baptista

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204086>


CAPÍTULO 7..... 83

ANÁLISE DE TÉCNICAS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA APLICADOS À CLASSIFICAÇÃO DE GRÃOS DE CAFÉ

Igor Garcia Lube

Gustavo Maia de Almeida

Fidelis Zanetti de Castro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204087>

CAPÍTULO 8..... 94

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS COMERCIAIS ORGÂNICOS E FLEXÍVEIS MECANICAMENTE

Ana Carolina da Silva Mota


Cleber Lourenço Izidoro

Vagner da Silva Rodrigues

Jorge Javier Gimenez Ledesma

Oswaldo Hideo Ando Junior

Marco Roberto Cavallari

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204088>

CAPÍTULO 9..... 106

SIMULAÇÃO DE ALGORITMOS DE RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA APLICADOS A PAINÉIS FOTOVOLTAICOS ORGÂNICOS COM CONVERSOR CC-CC SOB SOMBREAMENTO PARCIAL

Ana Carolina da Silva Mota

Vagner da Silva Rodrigues

Cleber Lourenço Izidoro

Jorge Javier Gimenez Ledesma

Oswaldo Hideo Ando Junior

Marco Roberto Cavallari

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2242204089>

CAPÍTULO 10..... 120

IDENTIFICAÇÃO E MODELAGEM DE PLUMAS GASOSAS NA COLUNA D'ÁGUA ATRAVÉS DE MÉTODOS GEOFÍSICOS DE ALTA RESOLUÇÃO

Jorge Fiori Fernandes Sobreira


Carlos Eduardo Borges de Salles Abreu

Esmeraldino Aleluia Oliveira Júnior

Marcelo Rocha Peres

Marco Ianniruberto

Luciano Emídio da Fonseca

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.22422040810>

CAPÍTULO 11..... 135

NUMERICAL SIMULATION OF A CONNECTED-PIPE TEST RAMJET MOTOR

Douglas Carvalho Cerbino

Olexiy Shynkarenko


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.22422040811>

CAPÍTULO 12..... 149

UMA REVISÃO DE LITERATURA SOBRE A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS E O CAMPO CONCEITUAL DAS ESTRUTURAS ADITIVAS

Grazielle Jenske

Verônica Gesser


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.22422040812>

CAPÍTULO 13..... 162

INFLUENCE OF NON-LINEAR DAMPING ON NON-LINEAR STRUCTURES VIBRATIONS

Thiago R. Carvalho

Zénon J. Guzman N. Del Prado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.22422040813>


CAPÍTULO 14..... 168

ESTUDO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL EM NOSSA SENHORA DA GLÓRIA/SE

José Batista Siqueira

Edson Magalhães Bastos Júnior

José Antônio Pacheco Almeida

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.22422040814>

SOBRE O ORGANIZADOR..... 182

ÍNDICE REMISSIVO..... 183

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS COMERCIAIS ORGÂNICOS E FLEXÍVEIS MECANICAMENTE

Data de aceite: 01/08/2022

Data de submissão: 13/07/2022

Ana Carolina da Silva Mota

UNILA – Universidade da Integração Latino
Americana
Foz do Iguaçu – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/0896542799177352>

Cleber Lourenço Izidoro

UNILA – Universidade da Integração Latino
Americana
Foz do Iguaçu – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/0896542799177352>

Vagner da Silva Rodrigues

UNILA – Universidade da Integração Latino
Americana
Foz do Iguaçu – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/77217191817660433>

Jorge Javier Gimenez Ledesma

UNILA - Universidade da Integração Latino
Americana
Foz do Iguaçu – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/9489296690332026>

Oswaldo Hideo Ando Junior

UFRPE - Universidade Federal Rural de
Pernambuco
Recife – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/3515465412634126>

Marco Roberto Cavallari

UNICAMP – Universidade Estadual de
Campinas
Campinas – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/9041429608835546>

RESUMO: Nos últimos anos, a humanidade vem sofrendo uma crise energética devido à modernização acelerada. Como as fontes convencionais de energia estão tendo um alto impacto na degradação do meio ambiente, energias renováveis são a alternativa. Dentre as fontes renováveis, a energia solar fotovoltaica vem ganhando destaque, mais precisamente, os filmes fotovoltaicos orgânicos (OPV), pois estes possuem muitas vantagens como: serem leves, semitransparentes, flexíveis e se conformarem as mais variadas superfícies. A fim de verificar o funcionamento perante fatores pré-determinados um sistema foi simulado no *software* MATLAB/SIMULINK, obtendo resultados perante a diferentes fatores de irradiância.

PALAVRAS-CHAVE: Células solares orgânicas, simulação, Matlab.

MODELING AND SIMULATION OF COMMERCIAL ORGANIC AND MECHANICALLY FLEXIBLE PHOTOVOLTAIC PANELS

ABSTRACT: In recent years, humanity has been suffering an energy crisis due to accelerated modernization. As conventional energy sources have a high contribution to the degradation of the environment, renewable energies are an alternative. Among renewable sources, photovoltaic solar energy has been gaining prominence, more precisely, organic photovoltaics (OPV). They offer many advantages such as lightweight, semitransparency, mechanical flexibility and conformability to a myriad of surfaces. In order to verify the operation

against predetermined factors, a system was simulated in the MATLAB/SIMULINK software. Performance was investigated under different irradiance parameters.

KEYWORDS: Organic photovoltaics, simulation, Matlab.

1 | INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e econômico gera cada vez mais demanda por energia elétrica, pois, nos últimos anos, a utilização de dispositivos eletroeletrônicos está muito presente no dia a dia da sociedade. Devido a isso, está se enfrentando uma crise energética no mundo, no qual, fontes convencionais de energia não estão sendo consideradas mais viáveis. Neste cenário, a energia advinda de combustíveis fósseis, por exemplo, está cada vez mais cara. Também se tem que as fontes convencionais de energia tem uma emissão de carbono alta, o que provoca o aumento no aquecimento global (VERMA *et al.*, 2015).

Se os problemas ambientais relacionados às fontes convencionais de energia não forem solucionados, poderão acarretar mudanças no clima mundial drásticas e, conseqüentemente, afetarão a qualidade de vida das pessoas, a indústria e, portanto, a economia. Com isso, fontes renováveis de energia se tornam muito importantes, pois os recursos utilizados oferecem a preservação do meio ambiente (LEITE, 2013).

Segundo o último infográfico, datado em 01/09/2021, da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), cerca de 58,9% da matriz elétrica Brasileira é proveniente de recursos hídricos, porém ainda que renovável, esta fonte de energia vem sendo um potencial degradador do meio ambiente (PEREIRA; SOUZA; SANTOS, 2016) (SANTOS *et al.*, 2021).

Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica vem se destacando como uma das fontes de energia renováveis mais promissoras, pois, tem baixa emissão de substâncias poluentes, pouca necessidade de manutenção e um custo reduzido.

Os dispositivos fundamentais na geração de energia solar fotovoltaica são as células solares. Até pouco tempo, estas, estavam muito relacionadas a semicondutores inorgânicos, mais precisamente o silício, porém visando o avanço do desenvolvimento dessa fonte de energia, o uso de semicondutores orgânicos vem se destacando como uma alternativa (MOLITON; NUNZI, 2006) (SANTOS; CAVALLARI; FONSECA, 2015).

Tecnologias fotovoltaicas a partir de compostos orgânicos, oferecem a vantagem de poderem ser flexíveis, leves, semitransparentes, e também tem o potencial de serem fabricados em um processo de impressão contínua, fácil adaptabilidade a uma ampla variedade de dispositivos e vantagens ecológicas (BRABEC *et al.*, 2005).

Uma destas tecnologias, são os fotovoltaicos orgânicos (OPV - *Organic Photovoltaics*), que são formados por várias células solares a partir de semicondutores orgânicos ligadas em série e/ou em paralelo. A técnica de fabricação de OPV tem a capacidade de formar filmes em diferentes padrões e dimensões, geralmente, em formato de linhas (PASTRANA

et al., 2021). Por isso, neste trabalho, as células individuais OPV serão chamadas de linhas OPV.

Em comparação com células fotovoltaicas a partir de semicondutores inorgânicos, as baseadas em semicondutores orgânicos tem uma menor vida útil e menor eficiência. Um dos principais fatores que influenciam o tempo de vida e eficiência de tecnologias fotovoltaicas, é o efeito do sombreamento parcial. Este acontece quando a irradiância incidente sobre as células fotovoltaicas não é uniforme, podendo causar danos por elevada dissipação local de potência. Em tecnologias de silício, uma solução para a mitigação desse efeito, é a implementação de métodos de rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT), que faz com que, apesar das condições climáticas, a tecnologia fotovoltaica forneça sempre a máxima potência possível. Em filmes OPV, o efeito do sombreamento parcial acarreta problemas irreversíveis pontuais na região sombreada.

Destaca-se que os módulos de silício tomam conta do mercado de energia solar fotovoltaica, por conta de sua eficiência e por utilizar tecnologias de produção já consolidadas. Porém, a geração de energia fotovoltaica através de compostos orgânicos já adentrou o mercado. Essa geração consiste em módulos personalizados de baixo custo que se moldam a qualquer superfície.

Com isso, tem sido feitos estudos para melhoria do funcionamento e eficiência de filmes fotovoltaicos orgânicos (OPV), sendo que, neste trabalho, dá-se ênfase à otimização do funcionamento das células fotovoltaicas orgânicas em painéis OPV com o formato de linhas. Por conta disso, destaca-se novamente que foi utilizada a nomenclatura “linha fotovoltaica orgânica - linha OPV”, para as células dos painéis OPV.

Em suma, neste capítulo, é abordada a caracterização da linha utilizada, e, por fim, realizada a sua simulação, baseada em um modelo matemático no *software* MATLAB/SIMULINK.

2 | MODELAGEM DA LINHA FOTOVOLTAICA ORGÂNICA

A linha fotovoltaica orgânica utilizada neste trabalho foi modelada a partir de dados de filmes OPV fornecidos por comunicação interna com empresas parceiras, o CSEM (Centro Suíço de Eletrônica e Microtecnologia) Brasil e a SUNEW. Foram fornecidos dados de um lote com 5 filmes fotovoltaicos fabricados pelo CSEM Brasil. Estes têm 30 cm² de área, sendo 21,6 cm² de área ativa. Os dados fornecidos foram de curvas I-V, das quais, por sua vez, os parâmetros elétricos foram extraídos.

Então, foi feita uma média dos parâmetros retirados das curvas I-V, afim de obter valores para cada linha mais precisos e que englobem todo o lote. Com isso, na Tabela 1, encontram-se os parâmetros médios dos filmes OPV, que serão empregados na modelagem de uma linha isolada.

Os filmes OPV contidos no lote são formados por um substrato de PET coberto por

um cátodo transparente de ITO e prata (Ag). Esse cátodo é depositado através da técnica de deposição de materiais chamada pulverização catódica (sputtering). Esta camada tem um molde para a definição das 6 linhas, que é feito por cortes mecânicos e deposição de um material poliéster como isolante. Depois, há a deposição das outras camadas por um processo de revestimento do tipo slot-die. A camada ETL é um filme extremamente fino a base de amina; a camada ativa é uma mescla de um polímero, com uma baixa banda proibida, e um material fullereno que é derivado do ácido [6,6]-fenil-C70 metilesterbutírico (PC70BM); a camada HTL é feita de uma dispersão polimérica em água de poli(3,4-etile nodioxitiofeno):poli(estireno sulfonado) (PEDOT:PSS), enquanto que o ânodo é composto por uma pasta de prata, depositada por um método como a serigrafia (*screen printing*) (BATISTA *et al.*, 2019)(CAVALLARI *et al.*, 2014)(ZANCHIN; CAVALLARI; FONSECA, 2021) (PASTRANA *et al.*, 2021).

Parâmetros	Valores
V_{oc} (V)	4,72 ± 0,01
I_{sc} (mA)	37,89 ± 0,62
P_{max} (mW)	98,62 ± 3,00
V_{mp} (V)	3,28 ± 0,02
I_{mp} (mA)	30,07 ± 0,81
FF (%)	55,15 ± 1,15
N (%)	4,57 ± 0,14
R_s (Ω)	30,88 ± 1,21
R_{sh} (Ω)	1554,15 ± 116,80

Tabela 1 - Parâmetros médios de um lote de 5 filmes OPV

Para a obtenção das curvas características da linha OPV, através de uma simulação que tem como base o modelo elétrico de células fotovoltaicas real, deve-se, primeiramente, calcular o valor de corrente de curto-circuito I_{sc} e a tensão de circuito aberto V_{oc} para cada linha do filme OPV.

Para as linhas conectadas em série, tem-se a seguinte expressão:

$$V_{oc} = \sum_i V'_{oci} \quad (1)$$

Supondo que cada linha seja igual, então os valores de V'_{oc} são os mesmo para todas as linhas. Logo, obtém-se:

$$V_{oc} = \sum_i V'_{oci} = V'_{oc1} + V'_{oc2} + V'_{oc3} + V'_{oc4} + V'_{oc5} + V'_{oc6} \quad (2)$$

$$V_{oc} = \sum_i V'_{oci} = 6 x V'_{oc} \quad (3)$$

$$V'_{oc} = \frac{V_{oc}}{6} = \frac{4,72}{6} = 0,79 \quad (4)$$

A tensão no ponto de máxima potência para cada linha (V'_{mp}) é calculada da mesma forma que V'_{oc} , e obtém-se um valor de 0,55 V.

Para fins de simplificação e como colocado anteriormente, condições de fabricação, nas quais, todas as linhas sejam iguais, considera-se o valor de corrente de curto-circuito e corrente no ponto de máxima potência, para cada linha, tal como na Tabela 1. Logo:

$$I'_{sc} = I_{sc} = 37,89 \text{ mA} \quad (5)$$

$$I'_{mp} = I_{mp} = 30,07 \text{ mA} \quad (6)$$

A potência máxima da linha OPV será:

$$P'_{mp} = I'_{mp} \times V'_{mp} = 30,07 \times 0,55 = 16,44 \text{ mW} \quad (7)$$

Os valores para a constante de corrente de circuito aberto (K_i), a constante de idealidade da junção η , foram retirados de (HUANG *et al.*, 2020), pois este faz uma simulação com filmes fotovoltaicos orgânicos, no qual o autor utiliza $K_i = 0,0017 \text{ A/K}$ e $\eta = 1,47$.

3 I MODELO DA LINHA SIMULADO NO MATLAB

A partir das equações (8) e (13), propõe-se um modelo matemático para simular a linha OPV e obter suas curvas características.

A irradiância solar incidente sobre a célula gera uma corrente elétrica que é representada pela fonte de corrente I_{ph} ; e, como a célula é um dispositivo feito de um material semicondutor, ela irá se comportar como um diodo, no qual passa uma corrente I_d . Essa última depende da tensão V dos terminais da célula (MOREIRA, 2019), conforme o circuito da Figura 1.

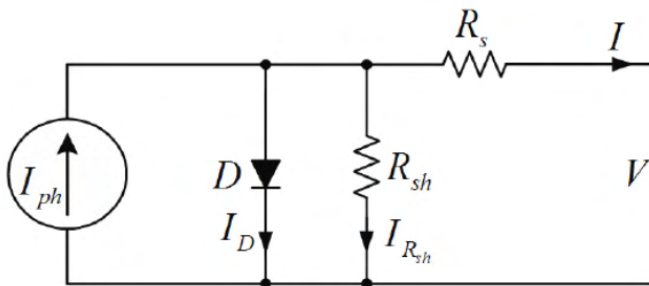


Figura 1 - Modelo de célula fotovoltaica com um diodo.

Fonte: do autor

Desta forma, pode-se escrever a corrente de saída da célula como:

$$I = Ipv = I_p - I_d - IRsh \quad (8)$$

A corrente elétrica que é representada pela fonte de corrente I_{ph} é:

$$I_{ph} = \left[I_{sc} + \frac{I_{sc}R_s}{R_{sh}} + K_i(T - T_{ref}) \right] \frac{S}{S_{ref}} \quad (9)$$

No qual K_i (A/K) é o coeficiente de corrente de curto-circuito, T é a temperatura atual da célula, T_{ref} é a temperatura de referência, S é a irradiância atual que está incidindo sobre a célula e S_n é a irradiância de referência (HUANG *et al.*, 2020). Já a corrente I_d que passa pelo diodo é igual a:

$$I_d = I_o \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{nV_t}\right) - 1 \right] \quad (10)$$

A corrente de saturação reversa ou corrente de fuga I_o do diodo é dada por:

$$I_o = \frac{I_{sc}}{\exp\left(\frac{V_{oc}}{nV_t}\right) - 1} \quad (11)$$

E tem-se que $IRsh$ é igual a,

$$IRsh = I_{sh} = \frac{I_{sc}}{\exp\left(\frac{V_{oc}}{nV_t}\right) - 1} \quad (12)$$

A tensão térmica V_t é:

$$V_t = \frac{NskT}{1} \quad (13),$$

onde q é a carga do elétron com o valor de $1,60 \times 10^{-19}$ C, $k = 1,38 \times 10^{-23}$ J/K é a constante de Boltzmann, T é a temperatura do junção P-N, N_s é a quantidade de células conectadas em série e n é a constante de idealidade da junção.

Segundo (MOREIRA, 2019), os valores de R_s e R_{sh} impactam diretamente no fator de preenchimento (FF) e conseqüentemente na qualidade da célula. Com isso, o valor da resistência em série deve ser pequeno ($R_s \rightarrow 0$) e já o valor resistência paralela deve ser grande ($R_{sh} \rightarrow \infty$) para que a célula tenha alta eficiência. As Figuras de 2 a 4 apresentam o modelo proposto e simulado no *software* MATLAB/SIMULINK.

As simulações foram realizadas a fim de se obter as curvas I-V e P-V para 1000 W/m^2 de irradiância incidente e 25°C de temperatura.

Também, fez-se uma simulação, a fim de se obter as curvas características para irradiâncias de 200 W/m^2 , 400 W/m^2 , 600 W/m^2 , 800 W/m^2 e 1000 W/m^2 , com uma temperatura fixa de 25°C . Foram realizadas também simulações para diferentes temperaturas com irradiância fixa, porém o modelo proposto não alcançou resultados que convergissem para a formação de curvas I-V e P-V adequadas. Isto pode ser devido ao fato que os valores de K_i , n , R_s e R_{sh} não terem sido otimizados, especificamente, para uma única linha OPV.

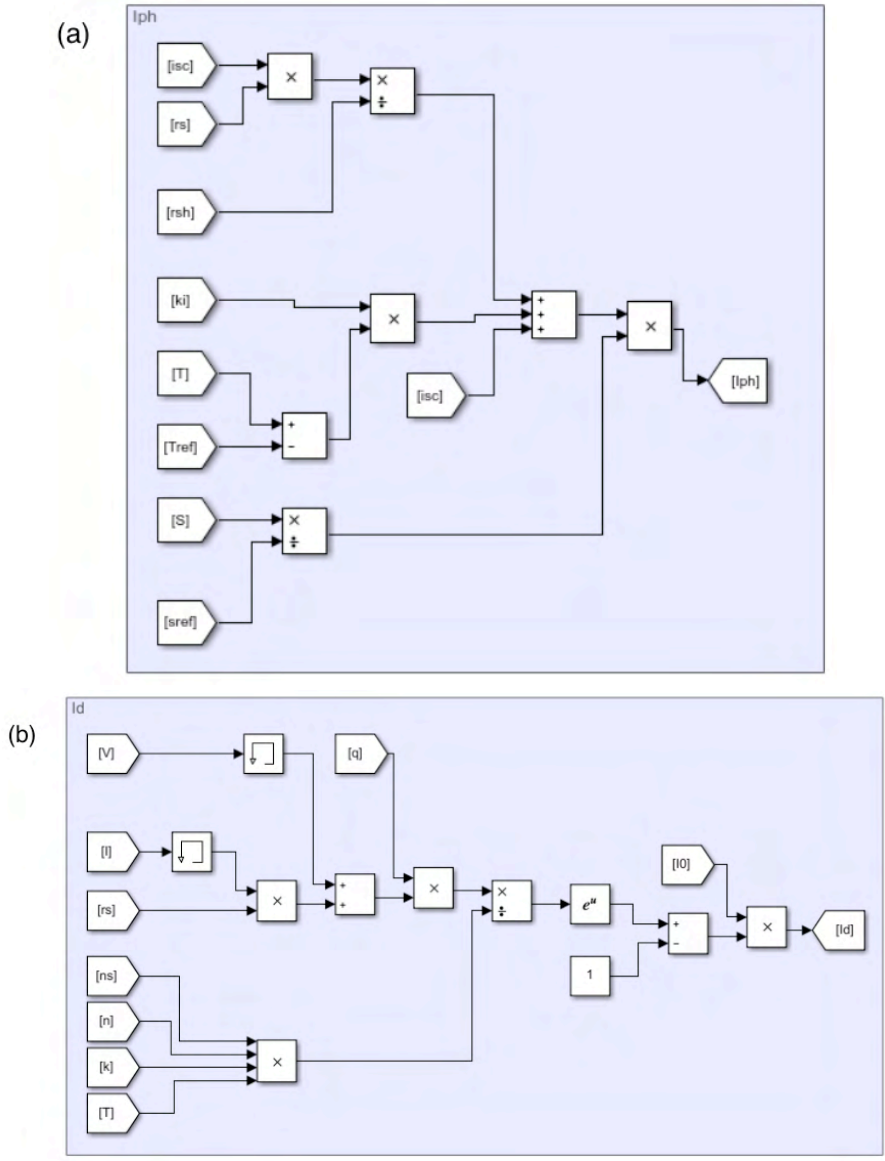


Figura 2 - Simulação do modelo matemático da linha OPV: (a) cálculo da corrente I_{ph} e (b) cálculo da corrente I_d

Fonte: do autor

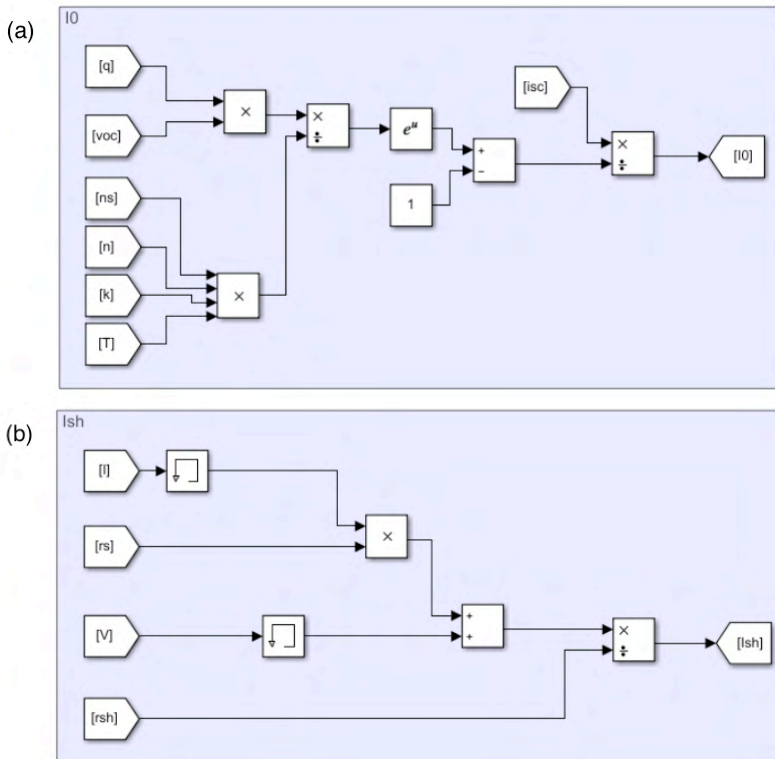


Figura 3 - Simulação do modelo matemático da linha OPV: (a) Cálculo de I_0 e (b) Cálculo de I_{sh} .

Fonte: do autor

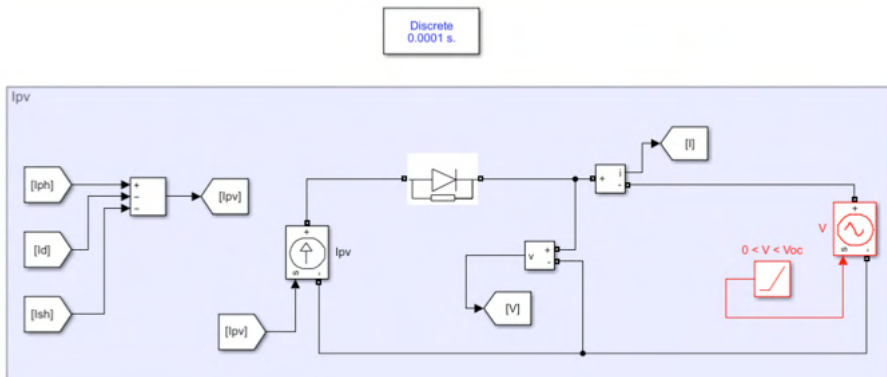


Figura 4 - Cálculo da corrente I_{pv} .

Fonte: do autor

A Tabela 2 mostra os dados utilizados nas simulações da linha OPV. O valor de R_{sh} utilizado é o mesmo da Tabela 1. E o valor de R_s não foi o mesmo daquela Tabela, pois o modelo simulado somente gerou curvas satisfatórias para $R_s < 1$.

Parâmetro	Valor
S (W/m ²)	1000
N_s	1
V_{oc} (V)	0,79
I_{sc} (mA)	37,89
R_{sh} (Ω)	1554,15
R_s (Ω)	0,31
N	1,47
K_i (A/K)	0,0017
K (J/K)	$1,38 \times 10^{-23}$
q (C)	$1,60 \times 10^{-19}$
S_{ref} (W/m ²)	1000
T_{ref} (K)	298,15

Tabela 2 - Parâmetros utilizado nas simulações da linha OPV

4 | ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As curvas características obtidas através da simulação da linha OPV são mostradas nas Figuras 5 e 6. Na Tabela 3, há uma comparação entre os valores medidos através das curvas I-V e P-V para 1000 W/m² e 25°C, com os calculados anteriormente na Seção 2.2. Por sua vez, na Tabela 4, são apresentados os valores das potências máximas para diferentes irradiâncias, obtidas dos gráficos P-V (Figura 6).

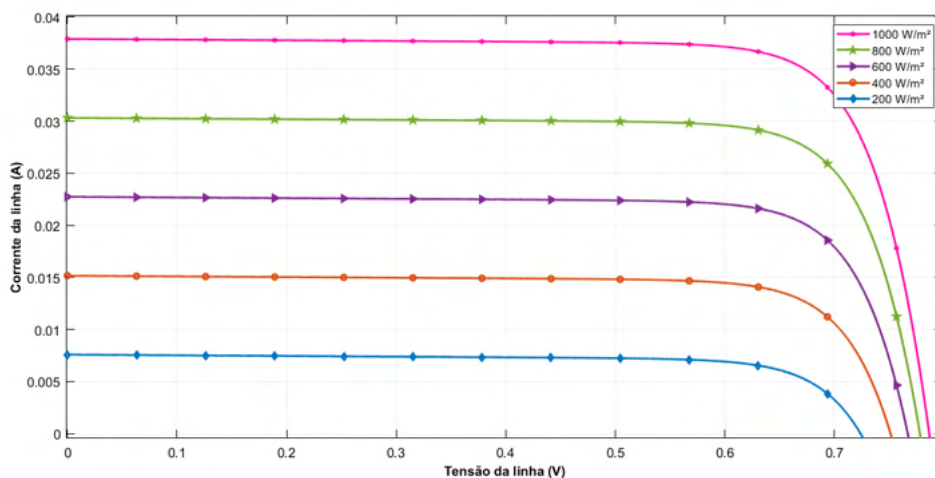


Figura 5 - Curva I-V da linha OPV para diferentes irradiâncias e temperatura de 25°C

Fonte: do autor

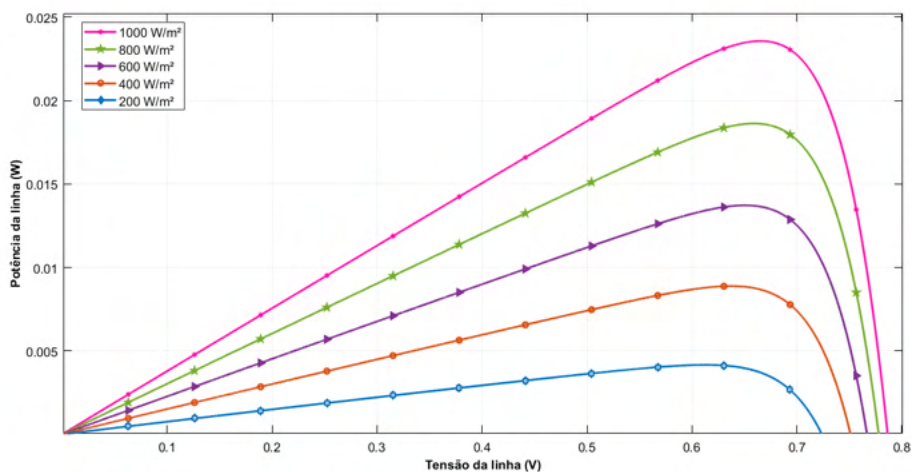


Figura 6 - Curva P-V da linha OPV para diferentes irradiâncias e temperatura de 25°C

Fonte: do autor

Parâmetro elétrico	Valor medido	Valor calculado	Erro
P_{max} (mW)	23,57	16,44	43,37%
V_{mp} (V)	0,66	0,55	20,00%
I_{mp} (mA)	35,45	30,07	17,89%
I_{sc} (mA)	37,89	37,89	0,00%
V_{oc} (V)	0,79	0,79	0,00%

Tabela 3 – Comparação entre parâmetros da linha medidos e calculados para 1000 W/m² e 25°C.

Irradiância (W/m ²)	P_{max} (mW)
1000	23,70
800	18,60
600	13,70
400	8,90
200	4,00

Tabela 4 - Parâmetros da linha para diferentes irradiâncias e 25°C.

A partir dos resultados apresentados, pode-se perceber que há uma diferença de 7,13 mW entre a potência calculada e a potência medida sob 1000 W/m² e 25°C. Isso é devido ao fato de que I_{mp} e V_{mp} também possuem diferenças em relação aos valores calculados. Alguns parâmetros do modelo, como, por exemplo, R_s e R_{sh} , podem ter influenciado diretamente no valor obtido para o ponto de máxima potência.

5 | CONCLUSÕES

A partir dos resultados da simulação do modelo matemático da linha OPV, pode-se

ver que o modelo funciona de maneira satisfatória sob diferentes irradiâncias. Conforme esperado, foram encontradas curvas I-V e P-V iguais às conservadas na literatura para esta tecnologia. Em trabalhos futuros, espera-se diminuir os erros em V_{mp} e I_{mp} , pois estes causaram um aumento aparente dos valores de potência máxima para cada irradiância em relação aos valores calculados inicialmente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a: (i) CSEM Brasil e SUNEW por concederem dados de seus filmes fotovoltaicos orgânicos para a realização desta investigação; (ii) Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia & Sustentabilidade (PPGIES) da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, 407531/2018-1 & 303293/2020-9) pelo apoio e fomento à pesquisa.

REFERÊNCIAS

BATISTA, D. *et al.* **Combined Organic Photovoltaic Cells and Ultra Low Power CMOS Circuit for Indoor Light Energy Harvesting.** Sensors, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 19, n. 8, p. 1803, 2019.

BRABEC, C. J.; HAUCH, J. A.; SCHILINSKY, P.; WALDAUF, C. **Production aspects of organic photovoltaics and their impact on the commercialization of devices.** MRS bulletin, Cambridge University Press, v. 30, n. 1, p. 50–52, 2005.

CAVALLARI, M. R. *et al.* **Molds and resists studies for nanoimprint lithography of electrodes in low-voltage polymer thin-film transistors.** Journal of Electronic Materials, Springer, v. 43, n. 5, p. 1317–1325, 2014.

HUANG, H. *et al.* **Development of an improved computer model for organic photovoltaic cells.** In: IEEE. 2020 9th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA). [S.l.: s.n.], 2020. p. 78–82.

LEITE, A. **A sustentabilidade empresarial, social e as fontes de energias.** Boletim de Inovação e Sustentabilidade, v. 1, 2013.

MOLITON, A.; NUNZI, J.-M. **How to model the behaviour of organic photovoltaic cells.** Polymer International, Wiley Online Library, v. 55, n. 6, p. 583–600, 2006.

MOREIRA, A. V. S. **Desempenho do Método Perturba e Observa com passo adaptativo e agrupamento de pontos em módulo fotovoltaico com diodo de passagem inteligente perante o sombreamento parcial.** 2019. UFRN. Dissertação de Mestrado – Brasil.

PASTRANA, L. M. *et al.* **Organic Thin-Films by Wet-Processes for Flexible Bulk-Heterojunction Organic Solar Cells.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL, COMPUTER AND ENERGY TECHNOLOGIES (ICECET), 2021, Cidade do Cabo, África do Sul. EUA: IEEE, 2021. pp. 1-6.

PEREIRA, P.; SOUZA, A.; SANTOS, I. **Modelagem e avaliação de desempenho das principais técnicas de controle de MPPT empregadas na geração fotovoltaica.** XIV CEEL. Uberlândia, 2016.

SANTOS, A. Q. O. *et al.* **Electricity Market in Brazil: A Critical Review on the Ongoing Reform.** Energies, MDPI, v. 14, p. 2873, 2021.

SANTOS, G.; CAVALLARI, M. R.; FONSECA, F. J. **A comparative study on the optimization of a ternary P3HT: PCBM: Pentacene active layer in bulk heterojunction organic solar cells.** Journal of Solar Energy Engineering, American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, v. 137, n. 4, 2015.

VERMA, D.; NEMA, S.; SHANDILYA, A.; DASH, S. K. **Comprehensive analysis of maximum power point tracking techniques in solar photovoltaic systems under uniform insolation and partial shaded condition.** Journal of Renewable and Sustainable Energy, AIP Publishing LLC, v. 7, n. 4, p. 042701, 2015.

ZANCHIN, V. R.; CAVALLARI, M. R.; FONSECA, F. J. **Stability of Polythiophene-Based Transistors upon Bending for Gas Sensing Applications.** Journal of Integrated Circuits and Systems, v. 16, n. 1, p. 1–6, 2021.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Algoritmos 83, 106, 154

Ambientes acadêmicos 74, 75

Aprendizagem 2, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 36, 38, 39, 40, 43, 44, 45, 48, 49, 50, 51, 71, 72, 76, 77, 78, 82, 150, 153, 154, 156, 157, 158, 159, 160

C

Café 83, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 91, 92, 93

Campo conceitual aditivo 149, 150, 151, 152, 153, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161

Ciência da computação 6, 7

Ciências exatas 22, 158

Comunidade 6, 11

Covid-19 1

D

Desenvolvimento 6, 7, 8, 11, 12, 16, 17, 19, 23, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 33, 35, 37, 38, 39, 42, 43, 62, 64, 75, 76, 95, 104, 107, 119, 150, 151, 160, 168, 169, 182

Docente 17, 18, 19, 23, 31, 32, 34, 38, 39, 40, 44, 47, 49, 63, 156, 159, 182

E

Ecologia 41, 42, 45, 47

Educação 1, 2, 3, 4, 5, 7, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 23, 24, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 37, 38, 40, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 61, 63, 64, 71, 72, 76, 156, 157, 158, 159, 182

Educação científica 4, 19

Energia solar 94, 95, 96, 107

Ensino 1, 3, 5, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 61, 62, 63, 64, 75, 76, 81, 156, 157, 158, 159, 160, 161

Estruturas aditivas 149, 152, 155, 156, 157, 158, 159, 161

Experimentação no ensino 13, 16, 17, 19, 20, 21, 24, 26, 31, 32, 33

Extensão 6, 7, 11, 12, 168, 172, 179

F

Fluidodinâmica computacional 136

M

Máquina 83, 85

Matemática 18, 19, 29, 30, 31, 32, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 61, 62, 63, 64, 65, 68, 71, 72, 77, 120, 121, 149, 151, 152, 154, 156, 157, 158, 159, 160, 161

Meio ambiente 6, 7, 11, 23, 29, 94, 95

Métodos geofísicos 120, 121

Modelagem 22, 30, 94, 96, 105, 107, 108, 119, 120, 121, 123, 127, 128, 129, 133, 160, 175, 177

Motor ramjet 135

N

Non-linear damping 162, 163, 166

P

Painéis fotovoltaicos 94, 106, 107

Poluição ambiental 75

Poluição sonora 74, 75, 76, 78, 81, 82

Professor 14, 18, 19, 38, 49, 50, 51, 53, 54, 62, 64, 65, 68, 76, 77, 79, 80, 81, 149, 151, 152, 155, 159, 160, 182

Q

Química 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 135

R

Recurso tecnológico 48, 51, 71, 72

Relato de experiência 6, 24, 32

S

Simulação 24, 32, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 106, 107, 112, 118, 133, 135, 136, 146

Software 2, 6, 7, 8, 9, 11, 75, 89, 94, 95, 96, 99, 106, 107, 110, 139, 140, 141, 158

Structures vibrations 162

Sustentabilidade 104, 119





T

Tecnologia 1, 2, 5, 17, 30, 31, 32, 33, 35, 49, 50, 75, 96, 104, 107, 158

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA:

Conhecimentos didático-pedagógicos
e o ensino-aprendizagem




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


Ano 2022

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA:

Conhecimentos didático-pedagógicos
e o ensino-aprendizagem



 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br


Ano 2022