

Energia Solar e Eólica 2

Paulo Jayme Pereira Abdala
(Organizador)

 **Atena**
Editora

Ano 2019

Paulo Jayme Pereira Abdala
(Organizador)

Energia Solar e Eólica 2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

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

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

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

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

E56 Energia solar e eólica 2 [recurso eletrônico] / Organizador Paulo Jayme Pereira Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Energia Solar e Eólica; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-067-4

DOI 10.22533/at.ed.674192201

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

CDD 621.042

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

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

2019

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

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

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

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

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

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

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

Paulo Jayme Pereira Abdala

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	10
ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA A INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NOS CAMPI IFG ITUMBIARA E URUAÇU	
Sergio Batista da Silva Olívio Carlos Nascimento Souto Fernando Nunes Belchior Ghunter Paulo Viajante Elias Barbosa Macedo Vera Ferreira Souza	
DOI 10.22533/at.ed.6741922011	
CAPÍTULO 2	24
ESTUDO DE VIABILIDADE PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLANTA FOTOVOLTAICA INTEGRADA EM UM SHOPPING CENTER DE FORTALEZA - CE	
Sofia da Costa Barreto Paulo Cesar Marques de Carvalho	
DOI 10.22533/at.ed.6741922012	
CAPÍTULO 3	41
ESTUDO DO COMPORTAMENTO E QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DO ABACAXI SECADO EM SECADOR HÍBRIDO SOLAR-ELÉTRICO	
Raphaela Soares da Silva Camelo Juliana Lobo Paes Milena Araujo Silva Madelon Rodrigues Sá Braz Dhiego Santos Cordeiro da Silva Camila Lucas Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.6741922013	
CAPÍTULO 4	54
ESTUDOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS SOBRE O CUINSE ₂ E SUA APLICAÇÃO EM DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS	
Yuri Hamayano Lopes Ribeiro Denis Gilbert Francis David Marcus Vinícius Santos da Silva Jailton Souza de Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.6741922014	
CAPÍTULO 5	66
EXPERIÊNCIA DE CURSO GRATUITO DE INSTALADOR DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE OFERECIDO PELO IFTO CAMPUS PALMAS	
Claudio Silva dos Santos Abimael Ribeiro Martins Adail Pereira Carvalho Brunno Henrique Brito	
DOI 10.22533/at.ed.6741922015	
CAPÍTULO 6	78
IMPACTO DA LEI PALMAS SOLAR NA ANÁLISE FINANCEIRA DA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM PALMAS - TO	
Isamara Quirino de Castro Carlos Brunno Henrique Brito	

Felipe Tozzi Bittencourt
DOI 10.22533/at.ed.6741922016

CAPÍTULO 7 91

IMPACTOS DOS INCENTIVOS DOS GOVERNOS DO ESTADO E DO MUNICÍPIO NA MICROGERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA EM PALMAS - TO

Allan Carlos do Nascimento Silva
Brunno Henrique Brito

DOI 10.22533/at.ed.6741922017

CAPÍTULO 8 104

IMPLANTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE DOIS GERADORES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS DIRETAMENTE NO BARRAMENTO C.C. DO LABORATÓRIO DE SISTEMAS HÍBRIDOS/MINIRREDES (GEDAE/UFPA)

Jorge Augusto Leal Corrêa
Claudomiro Fábio de Oliveira Barbosa
Marcos André Barros Galhardo
João Paulo Alves Veríssimo
Israel Hidai Lobato Lemos
Edinaldo José da Silva Pereira
João Tavares Pinho

DOI 10.22533/at.ed.6741922018

CAPÍTULO 9 121

INFLUÊNCIA DA SUJEIRA NA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Elismar Ramos Barbosa
Merlim dos Santos Ferreira de Faria
Fabio de Brito Gontijo

DOI 10.22533/at.ed.6741922019

CAPÍTULO 10 132

INFLUÊNCIA DO ESPECTRO SOLAR EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS SOB CÉU LIMPO, CÉU PARCIALMENTE NUBLADO E CÉU NUBLADO

Guilherme Marques Neves
Waldeir Amaral Vilela
Enio Bueno Pereira
Luiz Angelo Berni

DOI 10.22533/at.ed.67419220110

CAPÍTULO 11 146

INTENSIFICAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM COLETOR SOLAR DE PLACA PLANA ATRAVÉS DE GERADOR DE VÓRTICE LONGITUDINAL DO TIPO DELTA

Felipe Augusto Santos da Silva
Leandro Oliveira Salviano

DOI 10.22533/at.ed.67419220111

CAPÍTULO 12 161

METODOLOGIA COMPUTACIONAL DE CONTROLE DE QUALIDADE DE DADOS DE IRRADIÂNCIA SOLAR

Marcus Vinícius Contes Calça
Matheus Rodrigues Raniero
Alexandre Dal Pai
Carlos Roberto Pereira Padovani
Domingos Mario Zeca Fernando

CAPÍTULO 13 174

PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ABRIGOS DE PONTOS DE ÔNIBUS NA AV. ALMIRANTE BARROSO – BELÉM/PA

Ana Laura Pinheiro Ruivo Monteiro
Edinaldo José da Silva Pereira
Everton Leandro Santos Amaral
Ítalo de Sousa
Magda Tayane Abraão de Brito

DOI 10.22533/at.ed.67419220113

CAPÍTULO 14 191

PROJETO PRELIMINAR DE UM RADIÔMETRO ABSOLUTO PARA MEDIR A IRRADIÂNCIA SOLAR TOTAL

Franciele Carlesso
Jenny Marcela Rodriguez Gomez
Luiz Angelo Berni
Graziela da Silva Savonov
Luis Eduardo Antunes Vieira
Waldeir Amaral Vilela
Edson Luiz de Miranda

DOI 10.22533/at.ed.67419220114

CAPÍTULO 15 200

PROJETO, DESENVOLVIMENTO E TESTE DE FOGÕES SOLARES

Diego Lopes Coriolano
Erico Diogo Lima da Silva
Iraí Tadeu Ferreira de Resende
Vanina Cardoso Viana Andrade
Denilson Pereira Gonçalves
Renan Tavares Figueiredo
Odélsia Leonor Sanchez de Alsina

DOI 10.22533/at.ed.67419220115

CAPÍTULO 16 213

PROPOSTA DE RETROFIT NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO E ESTUDO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM UM DOS BLOCOS DA UTFPR EM CURITIBA

Larissa Barbosa Krasnhak
Jair Urbanetz Junior

DOI 10.22533/at.ed.67419220116

CAPÍTULO 17 229

PROPOSTA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA OTIMIZAÇÃO DO GASTO PÚBLICO COM O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA UNIDADE DE ENSINO FEDERAL IMPLANTADA NA REGIÃO DO VALE DO SÃO FRANCISCO

Adriano Moraes da Silva
Rebeca Lorena Santos Maia e Silva
Danielle Bandeira de Mello Delgado

DOI 10.22533/at.ed.67419220117

CAPÍTULO 18 246

PLATAFORMA PORTÁTIL E DE BAIXO CUSTO PARA A AQUISIÇÃO DA CURVA CARACTERÍSTICA

DE CÉLULAS SOLARES FOTOVOLTAICAS

Júlio César Madureira Silva
Augusto César da Silva Bezerra
Claudinei Rezende Calado
Ana Luiza F. Maia
Amanda Ribeiro Amorim

DOI 10.22533/at.ed.67419220118

CAPÍTULO 19 255

SISTEMA DE AQUISIÇÃO PARA PAINÉIS FOTOVOLTAICOS COM ARMAZENAMENTO DE DADOS EM SERVIDOR REMOTO UTILIZANDO PLATAFORMAS OPEN SOURCE RASPBERRY PI E ARDUINO

José Ilton de Oliveira Filho
Wilk Coelho Maia

DOI 10.22533/at.ed.67419220119

CAPÍTULO 20 263

SUJIDADE DEPOSITADA SOBRE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EM GOIÂNIA: MORFOLOGIA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Pedro Victor Valadares Romanholo
Bernardo Pinheiro de Alvarenga
Enes Gonçalves Marra
Sérgio Pires Pimentel

DOI 10.22533/at.ed.67419220120

CAPÍTULO 21 275

TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS SOLARIMÉTRICOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA EMC/UFG

Jéssica Alice Alves da Silva
Bernardo Pinheiro de Alvarenga
Sérgio Pires Pimentel
Enes Gonçalves Marra

DOI 10.22533/at.ed.67419220121

CAPÍTULO 22 290

TESTES DE SENSIBILIDADE PARA DIFERENTES PARAMETRIZAÇÕES CUMULUS DO MODELO WRF PARA MELHORAR AS ESTIMATIVAS DE VENTO

Lucia Iracema Chipponelli Pinto
Francisco Jose Lopes de Lima
Fernando Ramos Martins
Enio Bueno Pereira

DOI 10.22533/at.ed.67419220122

CAPÍTULO 23 303

O ENSINO SOBRE ENERGIAS RENOVÁVEIS NOS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA NAS UNIVERSIDADES BRASILEIRAS

André Barra Neto
Ana Paula Pinheiro Zago
Márcia Helena da Silva
Mirian Sousa Moreira
José Eduardo Ferreira Lopes

DOI 10.22533/at.ed.67419220123

CAPÍTULO 24	317
POTENCIALIDADE DO BIOGÁS GERADO PELA CODIGESTÃO ENTRE DEJETO BOVINO E SUÍNO	
<ul style="list-style-type: none"> Juliana Lobo Paes Camila Ferreira Matos Gabriel Araújo e Silva Ferraz Giancarlo Bruggianesi Camila Kelly de Queiroz Caroline Stephanie Gomes de Castro Soares 	
DOI 10.22533/at.ed.67419220124	
CAPÍTULO 25	333
SIMULAÇÃO DE UMA PLANTA OTEC DE CICLO FECHADO OPERANDO NO BRASIL	
<ul style="list-style-type: none"> Marcus Godolphim de Castro Neves Hélio Henrique Rivabene Ferreira Dias Cassio Roberto Macedo Maia Ricardo Alan Verdú Ramos 	
DOI 10.22533/at.ed.67419220125	
CAPÍTULO 26	344
ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE 24 MESES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE NO ESTADO DO TOCANTINS	
<ul style="list-style-type: none"> Brunno Henrique Brito Thálisson Câmara Belém Márcio Serafim de Almeida Felipe Tozzi Bittencourt 	
DOI 10.22533/at.ed.67419220126	
CAPÍTULO 27	359
ESTUDO TECNOLÓGICO DE SISTEMAS DE CULTIVO DE MICROALGAS	
<ul style="list-style-type: none"> Robson de Souza Santiago Bruno Lindbergh Sousa Yordanka Reyes Cruz Estevão Freire Suely Pereira Freitas Gisel Chenard Díaz 	
DOI 10.22533/at.ed.67419220127	
CAPÍTULO 28	376
INFLUÊNCIA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM AEROPORTOS SOBRE A SEGURANÇA DAS OPERAÇÕES AERONÁUTICAS	
<ul style="list-style-type: none"> Francisco Wilson Falcão Júnior Paulo Cesar Marques de Carvalho Wilson Cabral de Sousa Júnior 	
DOI 10.22533/at.ed.67419220128	
SOBRE O ORGANIZADOR	390

PLATAFORMA PORTÁTIL E DE BAIXO CUSTO PARA A AQUISIÇÃO DA CURVA CARACTERÍSTICA DE CÉLULAS SOLARES FOTOVOLTAICAS

Júlio César Madureira Silva
Augusto César da Silva Bezerra
Claudinei Rezende Calado
Ana Luiza F. Maia
Amanda Ribeiro Amorim

Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais – Cefet MG

RESUMO: Os parâmetros de desempenho e vida útil de uma célula fotovoltaica são obtidos através da curva corrente-tensão (curva IV) do dispositivo. Diferentemente das células fotovoltaicas inorgânicas (silício), as células poliméricas orgânicas apresentam problemas de estabilidade. Procedimentos básicos, sem a utilização de unidades SMU (*source meter unit*) para o levantamento desta curva, foram descritos em 2011 (REESE et al., 2011) e os dados reportados ajudarão na formulação de normas específicas para este novo tipo de dispositivos fotovoltaicos. Este trabalho propõe a utilização de uma plataforma de aquisição de dados mais acessível e barata, para a aquisição dos dados necessários para o traçado da curva JV de dispositivos fotovoltaicos. A plataforma usada para o protótipo apresentado neste trabalho foi o ARDUINO UNO, que possui hardware e software abertos, 14 entradas/saídas digitais (das quais 6 podem ser usadas como saídas

PWM) e 6 entradas analógicas. A velocidade de operação do processador é de 16 MHz e a comunicação com módulos externos é feita utilizando-se a conexão serial USB. A fim de comparação e validação dos dados adquiridos com a plataforma proposta, são apresentados também os dados adquiridos com uma unidade SMU comercial, modelo KEITHLEY 2400. Os resultados obtidos mostram que o protótipo proposto apresentou dados coesos com os valores esperados (faixa de erro menor que 5%).¹

PALAVRA CHAVE: células fotovoltaicas, polímeros semicondutores, curvas características, estabilidade, vida útil

ABSTRACT: The performance parameters as well as the lifetime of a solar cell can be inferred from the current-voltage curve (IV curve) of the device. Unlikely their inorganic counterpart (silicon based), the organic polymer solar cells face stabilities issues. Basic procedures, not requiring SMU (source meter unit) to perform the IV curve, were described in 2011 (REESE et al., 2011) and all the data acquired are supposed to help in proposing specific standards for this new type of photovoltaic devices. This paper presents an accessible and not expensive platform for data acquisition needed in order to plot the IV curve for photovoltaic devices.

1 Artigo para CBCiMat 06/10/2016

The platform used for the prototype here is ARDUINO UNO, it has both hardware and software open source, 14 digital input/output (of which 6 can be used as PWM outputs) and 6 analog inputs. The CPU speed is 16 MHz and all external communication is made using USB connection. In order to check and validate the data acquired with the proposed prototype, this paper also shows the data acquired with a professional SMU, KEITHLEY 2400. The results indicate that the proposed prototype presented the expected data correctly (error range below than 5%).

KEYWORDS: solar cells, semiconductor polymers, characteristic curves, stability, lifetime

1 | INTRODUÇÃO

A área de dispositivos fotovoltaicos passou por um processo evolutivo considerável desde o surgimento, no início dos anos 50, da primeira célula fotovoltaica, baseada em silício monocristalino e que, segundo Jorgensen et al. (2012), pode ser considerada como “a primeira célula fotovoltaica qualificadamente tecnológica”. Gevorgyan et al. (2016) menciona que após décadas de pesquisas e estudos, o estado da arte dos dispositivos fotovoltaicos encontra-se dividido em uma tecnologia inorgânica (baseada em silício) já consolidada comercialmente e com normas internacionais (IEC e ASTM) para validar a vida útil de novos módulos (em torno de 20-30 anos) e novas tecnologias “rapidamente emergentes”, como é o caso das células fotovoltaicas orgânicas (*organic photovoltaic cells – OPV*), células solares sensibilizadas por corantes (*dye sensitized solar cells – DSSC*), células de perovskita (*perovskite solar cells – PVSK*), dentre outras. Krebs (2012) explica que as células baseadas em cristais inorgânicos são “intrinsecamente estáveis”, e os mecanismos de degradação são basicamente associados a questões externas como soldas, barramentos e conectores. Já com relação às novas tecnologias, mais especificamente tratando das células OPV, a questão da estabilidade e vida útil vem sendo investigada constantemente, com a busca de uma metodologia própria para este tipo de célula. Gevorgyan et al. (2016) menciona que “grande esforço está sendo aplicado no desenvolvimento de uma metodologia que permita tanto a condução de testes de falha quanto para a confiança em relação a durabilidade ou previsão da vida útil no ambiente final de uso, baseado em testes acelerados”.

Reese et al. (2011) publicou os protocolos iniciais para medição e relato dos parâmetros de estabilidade de dispositivos OPV com o intuito diminuir a discrepâncias dos dados até então relatados por diferentes grupos, estabelecendo assim, critérios para que os dados possam ser comparados e formando-se assim um banco de dados confiável. Essas atitudes são muito importantes neste tipo de tecnologia que apresenta muitas características (internas e externas), ainda desconhecidas, associadas à degradação.

Jorgensen et al. (2012) menciona que o número de publicações sobre degradação de células OPV representa menos de 5% de todo trabalho publicado até 2010. Gevorgyan (2016) menciona que entre 2286 artigos analisados no ano de 2015, apenas 303 continham dados de vida útil, sendo os demais referentes a discussões sobre a teoria por detrás da questão da estabilidade. Reese (2011) menciona que não é preciso equipamento sofisticado (*source meter unit – SMU*) para atender às exigências dos níveis 1 (básico) e 2 (intermediário) da ISOS (*international summit on OPV stability*). Trabalhos anteriores publicados por Krebs et al. (2009) e Madsen et al. (2014) (baseados em estudos interlaboratoriais (*Round Robin – RR e Inter-laboratory Study – ILS*)) foram realizados procurando envolver o maior número de participantes e propondo procedimentos padrões de medição de parâmetros (sem a necessidade de equipamentos sofisticados) para servir como uma forma de integração entre grandes laboratórios de pesquisa e grupos menores de pesquisadores da área e padronizar os procedimentos para análise e relatório dos dados obtidos. Neste sentido este trabalho sugere um aparato mais acessível e portátil a ser utilizado para adquirir os parâmetros elétricos necessários para o levantamento da curva característica de dispositivos fotovoltaicos, com fins de monitoramento e análise dos mesmos.

2 | MEDIÇÃO E RELATÓRIO DE DADOS REFERENTES À ESTABILIDADE OPERACIONAL DE DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS ORGÂNICOS

Dam e Larsen-Olsen (2016) explicam que a medição dos parâmetros de uma célula fotovoltaica é feito com a varredura de um valor de tensão elétrica aplicada sobre a célula, medindo-se a resposta da corrente elétrica na mesma. A curva característica desta da célula (curva IV) é o gráfico dos valores de corrente obtidos em função da tensão elétrica aplicada, conforme pode ser visto na Figura 1.

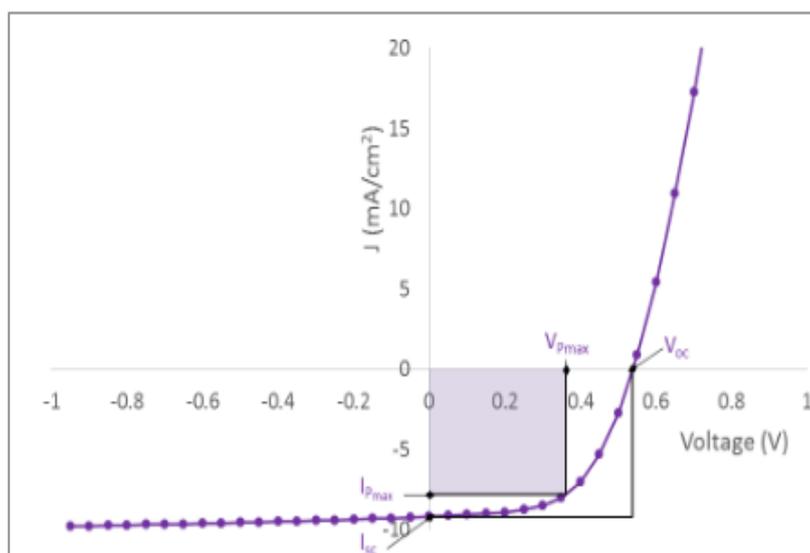


Figura 1: Exemplo de uma curva IV para uma célula fotovoltaica com destaque para os pontos de potência máxima ($V_{P_{max}} \cdot I_{P_{max}}$) e a tensão de circuito aberto V_{OC} e corrente de curto circuito

O ponto indicado como V_{oc} (*open circuit voltage*) refere-se à tensão de circuito aberta, ou seja, à máxima tensão fornecida pela célula (quando esta está sem carga conectada). Já o ponto indicado na Figura 1 como I_{sc} (*short circuit current*) refere-se ao valor máximo de corrente que a célula pode fornecer, ou seja, quando a carga conectada aos seus terminais for igual a zero. Reese (2011) explica que com a utilização de um simples voltímetro é possível a medição dos parâmetros V_{oc} e I_{sc} . Entretanto, o ponto de operação de uma célula fotovoltaica está relacionado com o ponto de potência máxima MPP (*maximum power point*), indicado na Figura 1 como o produto do valor da tensão V_{Pmax} · I_{Pmax} . Dam e Larsen-Olsen (2016) explicam ainda, que mais importante que o valor máximo de potência de uma célula fotovoltaica é a relação entre esta (potência máxima) e o produto entre os valores de V_{oc} e I_{sc} , parâmetro este definido como Fator de preenchimento (*fill factor – FF*):

$$F = \frac{I_{Pmax} \times V_{Pmax}}{I_{sc} \times V_o} \quad (1)$$

Outro parâmetro extraído da curva JV é a eficiência da célula (*power conversion efficiency – PCE*), que é a razão entre a eletricidade gerada e a energia luminosa de entrada:

$$PCE = \frac{I_{sc} \times V_o \times F}{P_{luminosa}} \quad (2)$$

Reese (2011) explica que o traçado da curva com os valores de PCE obtidos ao longo do tempo revela a instabilidade dos parâmetros das células OPV cuja explicação está relacionada com a diversidade de materiais e às diferentes arquiteturas utilizadas na construção do dispositivo, sendo as razões intrínsecas para falhas destes dispositivos pouco conhecidas ainda e minimizadas, na prática, com o uso de um encapsulamento apropriado.

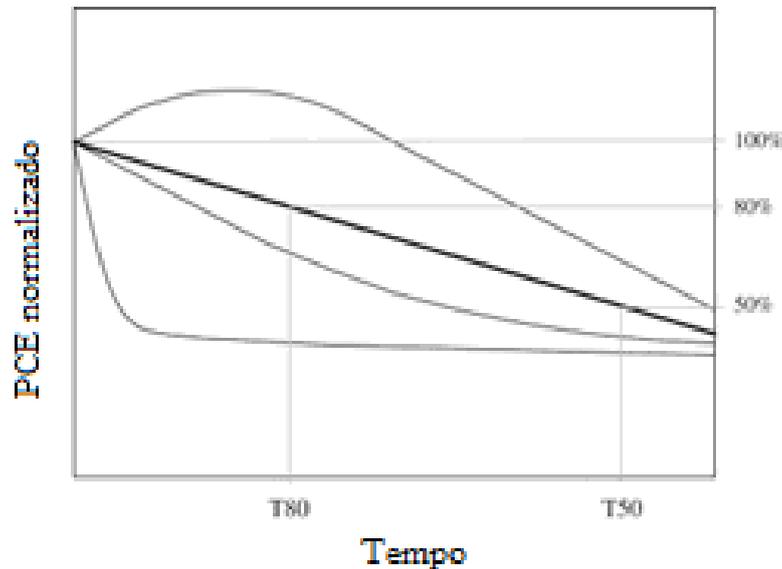


Figura 2: Exemplos da evolução de 3 curvas de eficiência (PCE) ao longo do tempo de operação de células fotovoltaicas orgânicas. Os tempos T_{80} e T_{50} foram obtidos supondo um dispositivo com decaimento linear e referem-se a 80% e 50% do valor inicial da eficiência dos dispositivos.

Fonte: Adaptado Reese et al., 2011.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Reese (2011) sugere que, para o traçado da curva IV, a faixa de valores de tensão contenha no mínimo de 100-200 pontos para possibilitar uma determinação precisa das características do dispositivo (V_{oc} , I_{sc} , MPP e FF) com intervalo de medição entre os dados de 10-100 ms, dependendo assim alguns segundos para a aquisição de todos os dados necessários para a curva. Para essa finalidade, utilizou-se a plataforma de hardware e software abertos ARDUINO UNO, que possui 14 entradas/saídas digitais (com 6 saídas configuráveis como moduladas por largura de pulso (*pulse width modulation* – PWM) e 6 entradas analógicas. A Figura 3 mostra o esquema utilizado para implementação do circuito.

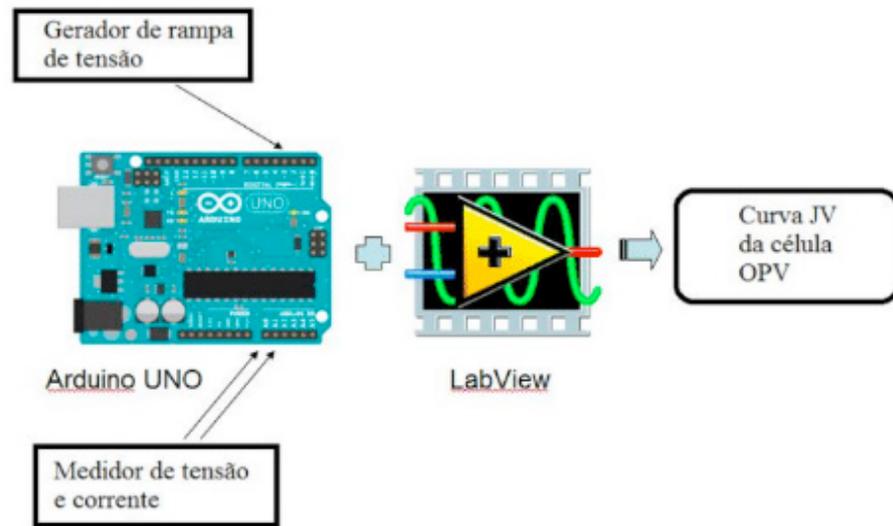


Figura 3: Esquema do sistema de aquisição de dados para levantamento da curva JV de células OPV.

Fonte: Próprio autor.

Conforme pode ser visto na Figura 3, utilizou-se também o ambiente de desenvolvimento de software LabView (National Instruments) com o intuito de facilitar a construção da interface gráfica para visualização dos dados adquiridos. A Figura 4 mostra o painel frontal e o diagrama de blocos criados com o LabView.

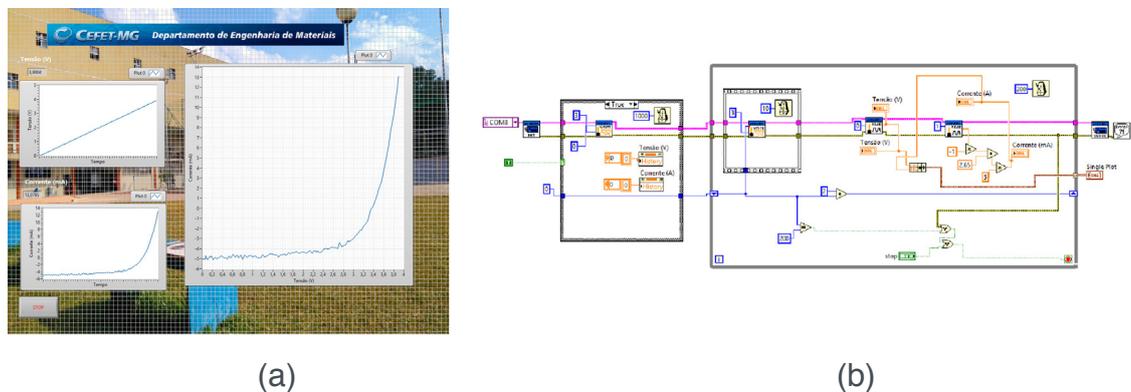
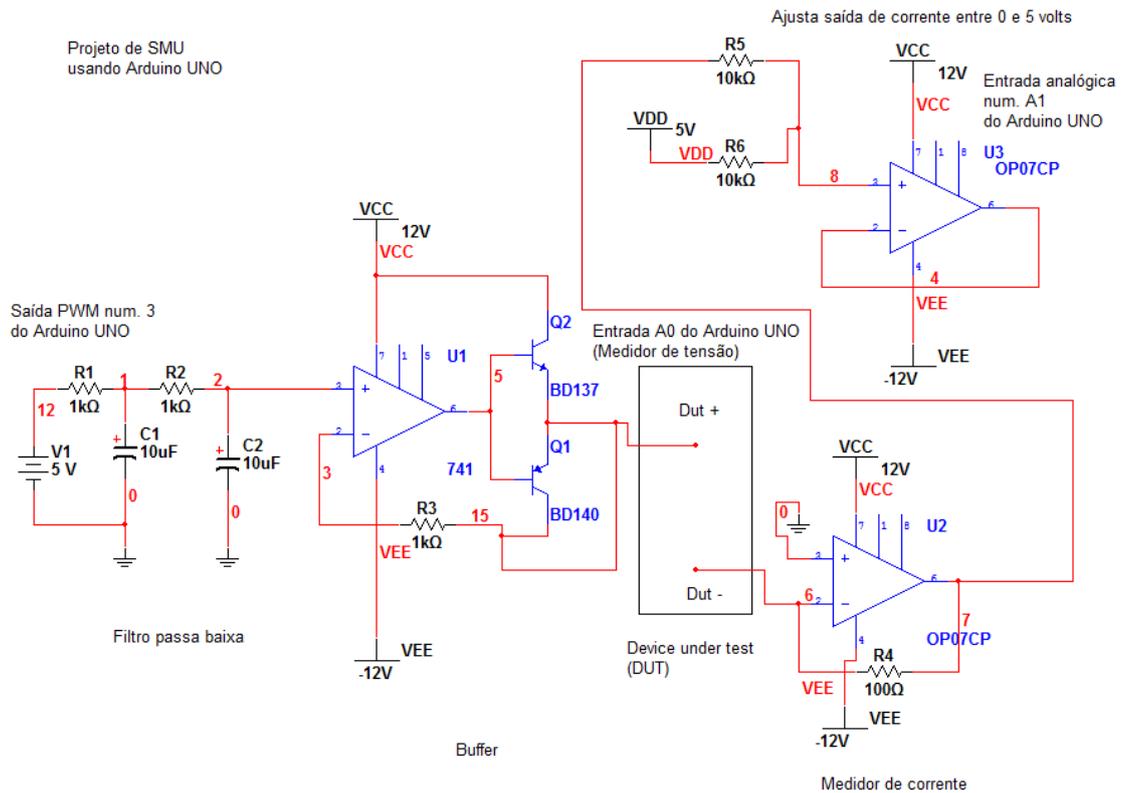


Figura 4: (a) Painel frontal e (b) Diagrama de blocos construídos usando LabView

Fonte: Próprio autor

A Figura XX mostra o projeto do circuito eletrônico utilizado para a implementação do protótipo apresentado.



Foi utilizado para este trabalho, uma célula de silício com as seguintes especificações: $V_{OC} = 3,43 \text{ V}$ e $I_{SC} = 16 \text{ mA}$. Para a geração do espectro de referência AM 1.5 (1000 W/m^2 , conforme IEXXXX), foi utilizado o simulador solar SUN 2000 (ABET TECHNOLOGIES), previamente calibrado utilizando-se a célula de calibração de silício, modelo RR_196_O. Já para a comparação dos resultados, foi utilizado o equipamento comercial SMU (*source meter unit*), KEITHLEY 2400. O aparato utilizado para a aquisição de dados é mostrado na Figura 5.

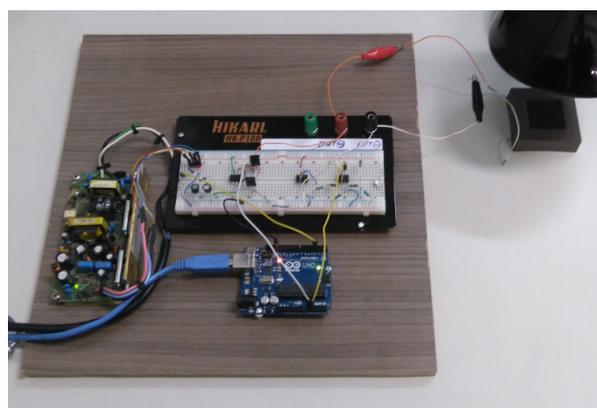


Figura 5: Aparato montado para a aquisição dos dados para levantamento da curva IV.

Fonte: Próprio autor.

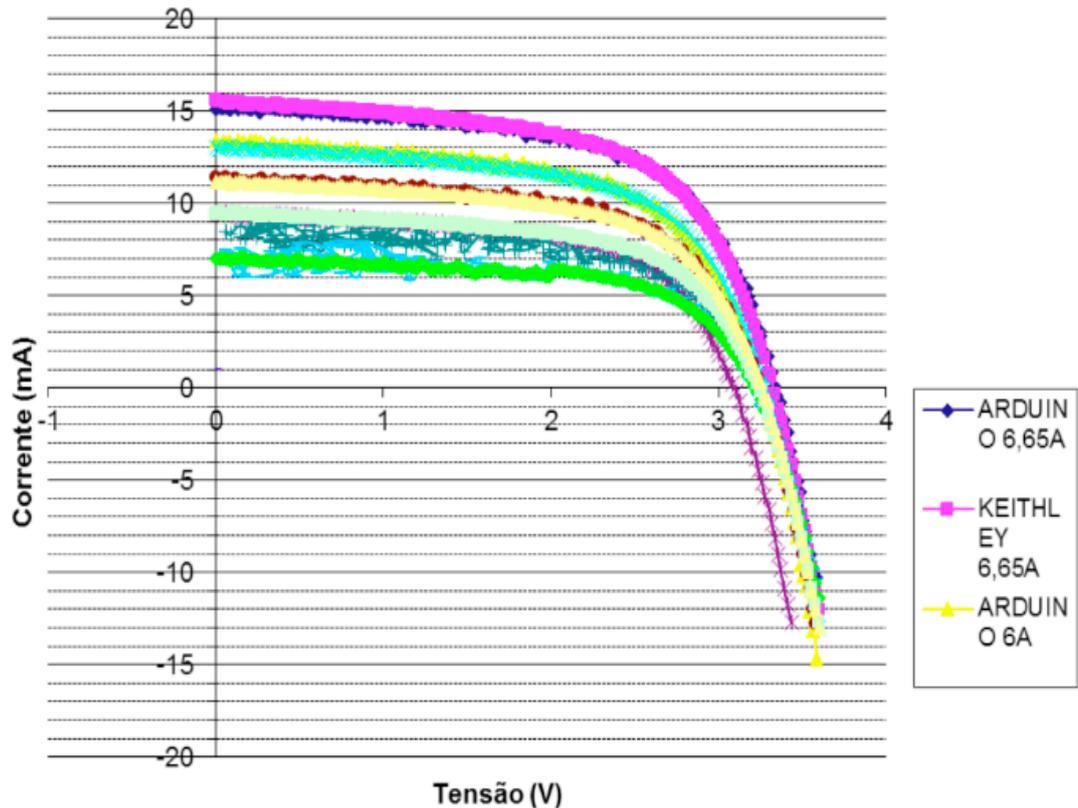
A Figura 6 mostrauma visão geral do “set” montado para a realização do “ensaio”.

Para validação das medidas, foram realizadas medições com diferentes valores

de irradiações (a partir do valor padrão AM 1.5 que é dito de 1 SUN). A tabela xx mostra os valores usados:

	Corrente (A)
1 sol	6,65
0,9 sol	6,00
0,83 sol	5,50
0,75 sol	5,00

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO



5 | CONCLUSÃO

O desenvolvimento de uma metodologia de testes de falhas e previsão de durabilidade de vida útil de células fotovoltaicas orgânicas passa pela análise de testes acelerados de vida útil de dispositivos sob diferentes condições (*outdoor* e *indoor*) obedecendo-se a protocolos predefinidos. Assim, o aumento do banco de dados obtidos com experimentações é crucial para o estabelecimento de normas próprias para este tipo de tecnologia.

O uso de ferramentas mais acessíveis e baratas para a aquisição de dados de desempenho de células OPV pode diminuir o tempo necessário para um melhor entendimento dos fenômenos referentes à degradação e melhoria da vida útil destes dispositivos.

O aparato apresentado neste trabalho mostrou resultados satisfatórios quando

comparado com os resultados obtidos com um equipamento comercial.

6 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro oferecido para o desenvolvimento do trabalho, bem como ao Cefet MG, Departamento de Engenharia de Materiais e ao CTNanotubos - UFMG pelo espaço e materiais/equipamentos de apoio utilizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JORGENSEN, M. et al. Stability of Polymer Solar Cells. **Advanced Materials**. 2012, 24, 580-612.

GEVORGYAN, S. A. et al. Baselines for lifetime of organic solar cells. **Advanced Energy Materials**. 2016.

KREBS, F. C. **Stability and Degradation of Organic and Polymer Solar Cells**. Wiley, 2012.

REESE, M. O. et al. Consensus stability testing protocols for organic photovoltaic materials and devices. **Solar Energy Materials and Solar Cells**. 2011, 95, 1253-1267.

KREBS, F. C. et al. A round robin study of flexible large-area roll-to-roll processed polymer solar cell modules. **Solar Energy Materials and Solar Cells**. 2009, 93, 1968-1977.

MADSEN, M. V. et al. Worldwide outdoor round robin study of organic photovoltaic devices and modules. **Solar Energy Materials & Solar Cells**. 2014, 30, 281-290.

DAM, Henrik Friis; LARSEN-OLSEN Thue Trofod. Characterization: IV- curves. Disponível em: < <http://plasticphotovoltaics.org/lc/characterization/lc-measure.html>>. Acesso em: 30 ago. 2016.

SOBRE O ORGANIZADOR:

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

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-067-4



9 788572 470674