

Uso do Módulo *Python Uncertainties* no cálculo de incertezas experimentais da diferença de potencial e corrente elétrica de um protótipo experimental

Use of the *Python Uncertainties* Module in the calculation of experimental uncertainties of the potential difference and electric current of an experimental prototype

Flávio M. do Couto^{*1}, Julio F. da Silva¹

¹Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, Departamento de Química e Física, Campus de Alegre, Alegre, ES, Brasil.

Recebido em 29 de setembro de 2020. Revisado em 18 de janeiro de 2021. Aceito em 01 de fevereiro de 2021.

Nesse artigo, utilizou-se o Módulo *Python Uncertainties* no desenvolvimento dos códigos para efetuar os cálculos de incertezas experimentais, tanto para a diferença de potencial, quanto para as correntes elétricas. Para esse fim, foi desenvolvido um protótipo experimental que demonstra o efeito fotovoltaico a partir da utilização de materiais de baixo custo e, por conseguinte, com o objetivo de observar e quantificar as referidas grandezas físicas envolvidas. Além disso, foi realizada uma análise qualitativa e quantitativa do efeito fotovoltaico, assim como da Primeira Lei de Ohm. Nessa perspectiva, o protótipo foi associado a um multímetro, que permitiu a aferição direta da diferença de potencial, cujo o valor principal foi de $(0,4582 \pm 0,0004)$ V, quando incidido um feixe *laser* em um fotodiodo presente em um transistor 2N3055, mas também os valores das correntes elétricas, sendo os valores principais de $(81,7100 \pm 0,1118)$ μ A e $(1,9990 \pm 0,0320)$ μ A, quando se utilizou dos resistores ôhmicos de 1,0 k Ω e 220,0 k Ω , respectivamente. Por fim, é importante salientar que essa proposta de artigo objetiva a anexação da computação física no cotidiano escolar, assim como promover o despertar científico na confecção de instrumentações específicas para o ensino-aprendizagem de física.

Palavras-chave: Python, Ensino de Física, Instrumentação para o Ensino de Física, Primeira Lei de Ohm.

In this article, the Python Uncertainties Module was used in the development of the codes to perform the calculations of experimental uncertainties, both for the potential difference and for the electric currents. For this purpose, an experimental prototype was developed that demonstrates the photovoltaic effect from the use of low-cost materials and, therefore, with the objective of observing and quantifying the referred physical quantities involved. In addition, a qualitative and quantitative analysis of the photovoltaic effect was carried out, as well as of Ohm's First Law. In this perspective, the prototype was associated with a multimeter, that allowed direct measurement of the potential difference, whose main value was $(0,4558 \pm 0,0004)$ V, when a laser beam was focused on a photodiode present in a 2N3055 transistor, but also the values of the electric currents, the main values being $(81,7100 \pm 0,1118)$ μ A and $(1,9990 \pm 0,0320)$ μ A, when the ohmic resistors of 1,0 k Ω and 220,0 k Ω were used, respectively. Finally, it is important to note that this article proposal aims at the annexation of physical computing in school routine, as well as promoting scientific awakening in the manufacture of specific instruments for teaching and learning physics.

Keywords: Python, Physics Teaching, Instrumentation for Physics Teaching, Ohm's First Law.

1. Introdução

A linguagem de programação em Python foi criada em 1990 por *Guido Van Rossum*. Destaca-se por ser *open source* (código aberto), além de apresentar elevado nível de desempenho e possuir uma gama de módulos pré-estabelecidos que permitem ao usuário desenvolver e alterar códigos para diversas finalidades [1]. O módulo *Python Uncertainties* pode ser utilizado na elaboração de expressões para cálculos simples e complexos de incertezas experimentais, via o método matemático de

derivadas [2]. Nesse artigo utilizou-se do módulo *Python Uncertainties* para o desenvolvimento de 4 (quatro) códigos específicos, a fim de utilizá-los no cálculo das incertezas experimentais da tensão e corrente elétrica, por meio de aplicação direta da Primeira Lei de Ohm, com uma precisão de saída configurada no código para um resultado de quatro (4) casas decimais definidas via método de arredondamento, em conformidade com os resultados apresentados nesse artigo. Nessa vertente, os valores obtidos, com a utilização de alguma instrumentação específica, seja ela analógica ou digital, são próximos de um resultado denominado valor principal e o intervalo de variação dos referidos valores é inversamente

* Endereço de correspondência: fmcfisico@gmail.com

proporcional ao grau de confiabilidade atribuída àqueles mensurados devido as incertezas experimentais associadas a cada uma das medições [3, 4].

Partindo desse pressuposto, a equação geral da propagação de incertezas, permite reduzir a uma única faixa de valores todas as incertezas associadas ao processo de medição, o qual está atrelado as variáveis estimadas. A equação (1) sintetiza o formalismo mais geral no cálculo de propagação de incertezas, todavia se as variáveis primárias atreladas à grandeza física forem independentes, estiverem em consonância estatística e apresentarem os desvios individuais e padrão com a mesma ordem de grandeza para a mesma variável [4]. Além disso, é fundamental destacar que o método utilizado para o cálculo das incertezas experimentais via módulo *Python Uncertainties* está em ressonância com a referida equação 1 [3, 4]:

$$\sigma_{\omega}^2 = \left(\frac{\partial\omega}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial\omega}{\partial y}\right)^2 \sigma_y^2 + \dots \quad (1)$$

Nessa tocante, foi realizada a montagem de um protótipo experimental, cujos componentes eletrônicos estão listados na Tabela 1, a fim de aplicar o módulo *Python Uncertainties*, respectivamente, no cálculo das incertezas da Tensão, em conformidade com os dados descritos na Tabela 2; dois (2) deles no cálculo das correntes elétricas, cujos dados foram apresentados nas Tabelas 3 e 4; por fim, um código específico para análise e empregabilidade da Primeira Lei de Ohm no referido procedimento experimental. Os códigos e as descrições pormenorizadas dos mesmos, foram disponibilizados na íntegra via plataforma virtual *GitHub*¹ [5].

Os objetivos elencados nesse artigo estão em ressonância com o desenvolvimento de uma instrumentação específica para a análise qualitativa e quantitativa do efeito fotovoltaico em um transistor; o desenvolvimento de códigos para o cálculo das incertezas das grandezas físicas supracitadas; aferição da corrente elétrica via Lei de Ohm. Por essas razões, vislumbrou-se a oportunidade e a necessidade de se desenvolver um protótipo experimental que pudesse ser acessível monetariamente, replicável e que oportunizasse abordar os principais conceitos relacionados à Primeira Lei de Ohm e ao estudo do efeito fotovoltaico dentro de um fotodiodo de silício (transistor) [6, 7]. Portanto, a proposição desse tipo de instrumentação no ensino de física, consideradas de baixo custo, tem merecido destaque em publicações científicas [8, 9]. Nesse sentido, o protótipo desenvolvido tem a funcionalidade didática e específica para análises qualitativas e quantitativas acerca do efeito fotovoltaico, em que se destaca pelo ineditismo aplicado ao ensino de física, assim como o desenvolvimento dos códigos para

os cálculos das incertezas experimentais correlacionadas à ddp e corrente elétrica.

Uma vez realizada a montagem, calibragem e testes com o protótipo experimental, posteriormente, um conjunto de medidas foram realizadas para obtenção dos valores da diferença de potencial de forma direta com o auxílio de um multímetro, e com o mesmo, estimou-se a queda de corrente que passa por um resistor, a fim de obter valores da tensão elétrica de forma indireta via Primeira Lei de Ohm conforme a equação (2), onde V – diferença de potencial ou ddp (V); R – resistência ôhmica (Ω) e i – corrente elétrica (A). [7]:

$$V = Ri \quad (2)$$

Por conseguinte, foi realizado um estudo pormenorizado sobre a empregabilidade e desenvolvimento do módulo *Python Uncertainties* para o cálculo das incertezas experimentais para a Tensão (ddp) e as correntes elétricas, cujos códigos foram disponibilizados nos apêndices 1 a 4 e no *GitHub*¹, nessa ordem, descritos previamente no resumo e, discutidos de maneira profícua na seção 3 desse artigo [2]. Portanto, com essa proposta espera-se elucidar atividades mais laborativas, a fim de estimular a criatividade, a participação efetiva do aluno na construção do seu conhecimento, nas tomadas de decisões, fundamentando-se em abordagens mais estruturadas, dinâmicas, alinhadas a promoção e o desenvolvimento de uma instrumentação adequada no estudo do efeito fotovoltaico, além de incentivar o uso da programação física no processo de ensino-aprendizagem [1, 10, 11]. Todavia, há uma gama de artigos que utilizam da fundamentação teórica do efeito fotovoltaico à aferição de grandezas físicas distintas, contudo aplicados na indústria, a citar: desenvolvimento de um veículo aéreo, não tripulado movido por energia solar para vigilância civil [12]; na determinação da eficiência energética em sistemas de iluminação [13]; na criação de algoritmos para a análise de sistemas fotovoltaicos [14].

Sendo assim, a utilização desse protótipo pode ser feita de modo didático em disciplinas distintas, porém correlacionadas, a citar uma de computação no ensino de física e outra que aborde os conteúdos acerca do efeito fotovoltaico. É fundamental destacar três relevantes aspectos, quanto à montagem e aplicação didática do referido protótipo. Primeiro, são componentes eletrônicos de fácil acesso e com baixo valor monetário comparados às instrumentações utilizadas nos laboratórios de instituições de ensino superior. Segundo, a programação utilizada nesse artigo é *open source*, ou seja, código aberto e gratuita, em que há várias plataformas digitais, sites, comunidades que a dominam e compartilham informações. Terceiro, exclusivamente para esse modelo apresentado (protótipo experimental), o código já foi desenvolvido e poderá ser replicado, uma vez que sua disponibilização será gratuita e livre. Portanto, reitera-se que a combinação e uso dessa proposta de instrumentação e linguagem de programação

¹ O GitHub é um repositório de código aberto público desenvolvido para fins de compartilhamento, alocação de códigos, gerenciamento de projetos, dados e criação de *softwares*, por meio dos quais mais de 50 (cinquenta) milhões de desenvolvedores [5].

supracitadas poderão ser desenvolvidas em disciplinas de física e/ou engenharias, com enfoque no processo de ensino-aprendizagem de maneira didática.

2. Protótipo Experimental e Metodologia de Aquisição de Dados

A montagem do protótipo foi desenvolvida utilizando-se uma base suporte de polipropileno; uma chave *on/off* para o *laser*; um transistor 2N3055; ponteiras para fechar o circuito e efetuar a medição da tensão e corrente; fios na confecção do circuito elétrico; um resistor de 1,0 kΩ e outro de 220,0 kΩ disposto na parte inferior da base suporte; um *laser* de comprimento de onda estimado em 650nm, de acordo com as especificações do fabricante e um multímetro para aferição da diferença de potencial (tensão e/ou ddp) e corrente elétrica. A Figura 1 ilustra o referido protótipo utilizado para fins de estudo do efeito fotovoltaico.

Os resistores dispostos na parte inferior do suporte base, fazem parte de um circuito elétrico utilizado na obtenção da ddp, mas também da corrente elétrica. Isso é possível, por meio das ponteiras do multímetro, uma vez mescladas entre os terminais adequados, torna o circuito aberto ou fechado, a fim de mensurar as grandezas físicas de interesse. O circuito base proposto para a coleta de dados está ilustrado na Figura 2.

A instrumentação utilizada na confecção do referido protótipo, configura a ideia central de utilizar materiais de valor aquisitivo bem menor que os *kits* experimentais desenvolvidos por empresas especializadas, seja no Brasil



Figura 1: Protótipo para estudo do efeito fotovoltaico e a Primeira Lei de Ohm.

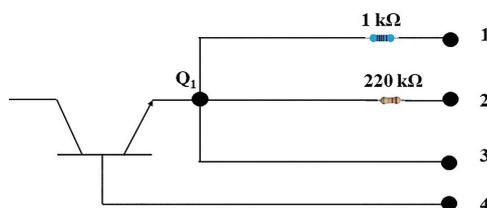


Figura 2: Circuito Elétrico utilizado na aferição da ddp e corrente elétrica.

Tabela 1: Componentes eletrônicos e a instrumentação utilizada na montagem do protótipo experimental. Valores estimados no mês de setembro do ano de 2020.

Componentes Eletrônicos e/ou Instrumentação	Valor Médio
Multímetro <i>ICEL MD-5770</i>	R\$ 90,00
Multímetro <i>InstruTerm MD-300</i>	R\$ 30,00
Transistor modelo 2N3055 <i>Malaysia</i> da marca ST	R\$ 5,00
<i>Laser</i>	R\$ 5,00
Resistores (1,0 a 220,0) kΩ	R\$ 1,00
Terminais de Ponteiras (extremidades utilizadas na aferição dos dados)	R\$ 1,00

e/ou exterior. Tendo em vista esse aspecto, foram organizados na Tabela 1, os principais componentes eletrônicos e a instrumentação utilizada na montagem do protótipo experimental, consonantes aos seus valores médios no mercado.

Objetivou-se fazer a tomada de dados e comparar os resultados obtidos para os dois multímetros, uma vez comprovada a eficiência do multímetro de menor valor, este foi utilizado para fins da obtenção dos valores para a ddp e corrente elétrica descritos na seção resultados e discussões. Dessa forma, assegura-se um protótipo com valor menor ao usuário final, mantendo-se a qualidade e eficiência na aquisição dos dados. Em relação ao transistor, seu valor irrisório permite o estudo do efeito fotovoltaico, recorrendo ao foto diodo de silício localizado em seu interior, cuja exposição à incidência de luz, onde utilizou-se de um *laser*, cujo comprimento de onda e potência são, respectivamente, iguais 650 nm e 5 mW. Além disso, foram utilizados 2 (dois) resistores de 1,0 kΩ e 220,0 kΩ, terminais de ponteiras (extremidades utilizadas na aferição dos dados), neste artigo utilizou-se 4 (quatro) terminais. Os valores estimados nesse artigo são referentes ao mês de setembro de 2020, todavia, estarão sujeitas as oscilações de preço do mercado.

O sistema foi alinhado, de maneira que, o feixe *laser* incidisse perpendicularmente sobre a fotocélula do transistor e, por conseguinte, foram mensuradas, de forma direta, a diferença de potencial nas extremidades 3 e 4 do circuito elétrico ilustrado na Figura 2, com o auxílio do multímetro na escala de 2000 m na função *DCV*. Sucessivamente, alternou-se a escala do multímetro para 200 μ *DCA* e, conseqüentemente, foram obtidos os valores para a corrente elétrica nas extremidades 1 e 4, onde foi possível fechar o circuito com um resistor de 1,0 kΩ. A mesma escala foi utilizada nas extremidades 2 e 4 fechando o circuito com um resistor de 220,0 kΩ.

3. Resultados e Discussões

Os procedimentos para aquisição dos dados pertinentes a ddp, consistiu na utilização das extremidades 3 e 4 do circuito elétrico, quando o feixe *laser* incidia sobre a

fotocélula. Nesse sentido os valores para a ddp apareciam diretamente no visor do multímetro. Com isso, foram realizadas 100 medições, subdivididas em 20 (vinte) etapas, cada uma delas com 5 (cinco) repetições para o cálculo da ddp, devido ao efeito fotovoltaico. O valor médio com sua incerteza experimental ficou estimado em torno de $(0,4582 \pm 0,0004) \text{ V}$. O valor principal, assim como a sua incerteza experimental, foi calculado via módulo *Python Uncertainties*, cujo código completo pode ser apreciado gratuitamente na plataforma *GitHub* [15]. Não obstante, os códigos foram desenvolvidos para obter uma precisão de quatro (4) casas decimais nos cálculos das incertezas e disponibilizados nos Apêndices de 1 a 4. Os resultados estão disponíveis na Tabela 2 e o código referente aos cálculos das incertezas está descrito, na íntegra, no Apêndice 1.

Os resultados dispostos na Tabela 3 são referentes a corrente elétrica, quando se utilizou o resistor ôhmico de $1,0 \text{ k}\Omega$. Para isso, foram realizadas 100 (cem) medições, subdivididas em 20 (vinte) etapas, cada uma delas prevalecendo o total de 5 (cinco) repetições. Com isso, foi possível mensurar o valor principal e sua incerteza experimental de $(81,710 \pm 0,112) \mu\text{A}$, ou seja, com uma variação de $\pm 0,14\%$. Analogamente ao cálculo da ddp (Tabela 2), o código utilizado para obtenção dos valores presentes na Tabela 3, pode ser apreciado, na plataforma *GitHub* [16]. O código referente aos cálculos das incertezas da Tabela 3 está descrito, na íntegra, no Apêndice 2.

Os resultados descritos na Tabela 4, são condizentes a utilização do resistor ôhmico de $220,0 \text{ k}\Omega$ e os procedimentos adotados, assim como a obtenção de todos

os dados seguiram, de maneira fidedigna ao descrito na aquisição dos dados da Tabela 3. Contudo, obteve-se o valor principal e sua incerteza experimental de $(1,9990 \pm 0,0320) \mu\text{A}$ com uma variação de $\pm 1,6\%$. O código utilizado para obtenção dos valores presentes na Tabela 3, está na plataforma *GitHub* [17]. O código referente aos cálculos das incertezas da Tabela 4 está descrito, na íntegra, no Apêndice 3.

Em seguida, foram substituídos os valores da ohmicidade de $1,0 \text{ k}\Omega$ e da corrente elétrica na Equação (2). Essas substituições permitiram obter o valor principal para a diferença de potencial e sua incerteza experimental $(0,0830 \pm 0,0042) \text{ V}$ [18]. Comparando este valor com aquele demonstrado na Tabela 2, observou-se uma discrepância considerável. Sendo assim, justifica-se esse fato, por consequência do baixo valor da corrente elétrica que percorre o circuito elétrico descrito na Figura 2. Contudo, a utilização do referido resistor se torna insignificante. Isso permitiu estabelecer os valores na função do multímetro em DCA e escala de $200 \mu\text{A}$ ao inserir as ponteiros de prova nos terminais 3 e 4 do circuito, a fim de obter os mesmos valores de corrente, previamente, mensurados via os terminais 1 e 4, ratificando dessa forma, a inutilização do resistor. De maneira semelhante, foi substituído os valores da resistência de $220,0 \text{ k}\Omega$ e da corrente elétrica na Equação (2). Isso permitiu obter de forma indireta o valor principal da diferença de potencial, associado à sua incerteza experimental de $(0,4438 \pm 0,0233) \text{ V}$ [18].

A incerteza experimental detém uma gama de valores dispersos em torno de um valor de referência, ou seja, denominado valor principal. Observa-se essa variação

Tabela 2: Valores da ddp para o Efeito Fotovoltaico.

Medida	T1(V)	T2(V)	T3(V)	T4(V)	T5(V)	Médias das ddp's (V)	Incerteza (V)
1	0,4630	0,4620	0,4590	0,4580	0,4620	0,4608	
2	0,4600	0,4630	0,4640	0,4580	0,4600	0,4610	
3	0,4620	0,4590	0,4590	0,4580	0,4590	0,4594	
4	0,4630	0,4610	0,4610	0,4610	0,4610	0,4614	
5	0,4620	0,4570	0,4600	0,4590	0,4600	0,4596	
6	0,4580	0,4540	0,4540	0,4540	0,4540	0,4548	
7	0,4550	0,4570	0,4560	0,4560	0,4570	0,4562	
8	0,4570	0,4570	0,4560	0,4560	0,4560	0,4564	
9	0,4570	0,4570	0,4570	0,4570	0,4570	0,4570	
10	0,4560	0,4560	0,4560	0,4560	0,4560	0,4560	$\pm 0,0024$
11	0,4570	0,4560	0,4590	0,4580	0,4570	0,4574	
12	0,4580	0,4590	0,4590	0,4590	0,4590	0,4588	
13	0,4570	0,4580	0,4570	0,4570	0,4580	0,4574	
14	0,4600	0,4590	0,4580	0,4580	0,4580	0,4586	
15	0,4580	0,4580	0,4560	0,4580	0,4580	0,4576	
16	0,4580	0,4590	0,4580	0,4580	0,4580	0,4582	
17	0,4580	0,4590	0,4590	0,4580	0,4590	0,4586	
18	0,4580	0,4590	0,4580	0,4580	0,4580	0,4582	
19	0,4600	0,4590	0,4590	0,4570	0,4590	0,4588	
20	0,4590	0,4580	0,4580	0,4580	0,4580	0,4582	
Valor Principal da ddp	-	-	-	-	-	$0,4582 \pm 0,0005$	

Tabela 3: Valores da corrente elétrica para o resistor ôhmico de 1,0 kΩ.

Medida	C1(μA)	C2(μA)	C3(μA)	C4(μA)	C5(μA)	Média das Correntes Elétricas (μA)
1	94,3000	90,4000	89,1000	88,0000	86,5000	89,6600 \pm 0,5353
2	83,3000	82,4000	81,9000	81,9000	80,5000	82,0000 \pm 0,5009
3	85,5000	83,2000	81,8000	81,4000	80,7000	82,5200 \pm 0,5033
4	87,0000	83,3000	81,2000	80,0000	77,6000	81,8200 \pm 0,5003
5	80,2000	79,5000	79,1000	78,9000	78,5000	79,2400 \pm 0,4885
6	82,2000	79,7000	78,2000	77,3000	77,2000	78,9200 \pm 0,4872
7	82,4000	78,1000	74,1000	75,1000	74,3000	76,8000 \pm 0,4778
8	80,3000	79,9000	77,0000	76,3000	76,1000	77,9200 \pm 0,4827
9	81,9000	81,0000	79,9000	79,4000	78,8000	80,2000 \pm 0,4929
10	80,9000	80,0000	79,2000	78,7000	78,1000	79,3800 \pm 0,4892
11	91,7000	87,7000	90,1000	89,6000	88,5000	89,5200 \pm 0,5345
12	88,6000	86,7000	90,1000	89,3000	80,3000	87,0000 \pm 0,5235
13	77,0000	76,4000	86,6000	81,6000	84,7000	81,2600 \pm 0,4979
14	83,5000	85,1000	80,0000	77,9000	77,6000	80,8200 \pm 0,4958
15	79,8000	79,0000	81,4000	81,2000	81,4000	80,5600 \pm 0,4945
16	86,5000	88,1000	86,7000	86,7000	87,4000	87,0800 \pm 0,5236
17	76,3000	76,3000	76,6000	77,8000	79,3000	77,2600 \pm 0,4797
18	83,4000	82,6000	83,2000	82,7000	81,0000	82,5800 \pm 0,5035
19	78,4000	78,7000	77,9000	78,6000	80,4000	78,8000 \pm 0,4866
20	80,3000	81,5000	81,5000	80,7000	80,3000	80,8600 \pm 0,4958
Valor Principal da Corrente	-	-	-	-	-	81,7100 \pm 0,1118

Tabela 4: Valores da corrente elétrica para o resistor ôhmico de 220,0 kΩ.

Medida	C1(μA)	C2(μA)	C3(μA)	C4(μA)	C5(μA)	Média (μA)
1	2,0000	1,9000	2,0000	2,0000	2,0000	1,9800 \pm 0,1430
2	2,0000	2,1000	2,0000	2,0000	1,9000	2,0000 \pm 0,1431
3	2,1000	2,0000	1,9000	2,0000	2,0000	2,0000 \pm 0,1431
4	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000 \pm 0,1431
5	2,1000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0200 \pm 0,1432
6	1,9000	2,0000	2,1000	2,0000	2,0000	2,0000 \pm 0,1431
7	2,0000	1,9000	1,9000	2,0000	1,9000	1,9400 \pm 0,1428
8	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000 \pm 0,1431
9	2,0000	2,0000	2,0000	1,9000	2,1000	2,0000 \pm 0,1431
10	2,1000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0200 \pm 0,1432
11	2,0000	2,1000	2,1000	1,9000	2,0000	2,0200 \pm 0,1432
12	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000 \pm 0,1431
13	2,1000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0200 \pm 0,1432
14	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000 \pm 0,1431
15	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000 \pm 0,1431
16	2,0000	1,9000	2,1000	1,9000	2,1000	2,0000 \pm 0,1431
17	1,9000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	1,9800 \pm 0,1430
18	2,1000	2,0000	2,1000	2,0000	2,0000	2,0400 \pm 0,1433
19	2,0000	2,0000	2,0000	1,9000	2,0000	1,9800 \pm 0,1430
20	2,0000	1,9000	2,0000	2,0000	2,0000	1,9800 \pm 0,1430
Valor Principal da Corrente	-	-	-	-	-	1,9990 \pm 0,0320

com cerca de $\pm 5,3\%$ em relação ao valor principal. Não obstante, existem fatores intrínsecos no processo de aquisição de dados em o todo procedimento experimental, dos quais o resultado final depende diretamente da precisão, calibração e a incerteza das instrumentações utilizadas, assim como o alinhamento do sistema e o fator humano na execução das medições [3]. O modelo

adotado nesse artigo foi para o cálculo das incertezas experimentais, tendo em vista que os valores da tensão obtidos e informados na Tabela 2, são utilizados como referência, pois são variáveis considerando as fontes de erros supracitadas, mesmo vinculados a um percentual diminuto. Sendo assim, a prerrogativa de não ter um referencial imutável e/ou fixo, faz com que se utilize da

teoria de incertezas experimentais, em contrapartida à teoria de erros.

Notoriamente, esse valor ($0,4438 \pm 0,0233$) V é condizente àquele calculado na Tabela 2, o qual corrobora a faixa de valores associados a sua incerteza experimental. O código referente aos cálculos das incertezas está descrito, na íntegra, no Apêndice 4.

4. Conclusões

Em geral, as análises via código de programação por meio do módulo *Python Uncertainties*, podem proporcionar uma visão mais holística do uso da computação no ensino de física, por meio da linguagem em *Python*, dentre tantas outras *open source*, como um recurso gratuito e relevante no enriquecimento do processo de ensino-aprendizagem [19].

A instrumentação desenvolvida nesse artigo prevê a possibilidade de ser usada em modo didático com a utilização de poucos recursos financeiros e construir um protótipo eficaz no estudo da Primeira Lei de Ohm e na observação do efeito fotovoltaico de maneira qualitativa, mas também quantitativa. Nessa tocante, a obtenção de dados referentes a diferença de potencial e a corrente elétrica. Essas análises em consonância com os dados apresentados corroboram, os códigos desenvolvidos sinalizam uma notória eficiência e, posterior, aplicação e replicabilidade em instituições de ensino básica e/ou superior.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Espírito Santo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo – FAPES.

Material Suplementar

O seguinte material suplementar está disponível online:

- Apêndice 1
- Apêndice 2
- Apêndice 3
- Apêndice 4

Referências

- [1] A. Downey, J. Elkner e C. Meyers, *How to Think Like a Computer Scientist* (Green Tea Press Needham, Massachusetts, 2002).
- [2] E.O. Lebigot, *Uncertainties Python Package: Documentation Release 3.0.1*, disponível em: <https://pythonhosted.org/uncertainties>, acessado em 19/08/2020.
- [3] J.H. Vuolo, *Fundamentos da teoria de erros* (Edgard Blucher, São Paulo, 1996), 2ª ed.
- [4] P. Lima Jr. e F.L. da Silveira, *Rev. Bras. Ens. Fis.* **33**, 2 (2011).
- [5] <https://github.com/>, acessado em 17/01/2021.
- [6] M. Azevedo e A. Cunha, *Fazer uma célula fotovoltaica*, disponível em: https://www.academia.edu/25810777/Physics_on_Stage_Fazer_uma_c%C3%A9lula_fotovoltaica.
- [7] M. Alonso e E.J. Finn, *Física* (Escolar Editora, Forte da Casa, 2012).
- [8] A.J. Bühler, *Estudo de técnicas de determinação experimental e pós processamento de curvas características de módulos fotovoltaicos*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (2011).
- [9] A.M.F. Diniz e R.D. Araújo, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **41**, e20180216 (2019).
- [10] T. Igoe e D. O'sullivan, *Physical Computing – Sensing and Controlling the Physical World with Computers* (Thomson Course Technology, Boston, 2004).
- [11] N.J. Giordano e H. Nakanishi, *Computational Physics* (Pearson, London, 2005), 2ª ed.
- [12] N.J.P. Betancourth, J.E.P. Villamarin, J.J.V. Rios, P.D. Bravo-Mosquera e H.D. Cerón-Muñoz, *J. Aerosp. Technol. Manag.* **8**, 385 (2016).
- [13] C.L. Boquimpani, A.L.T.S. Motta, O.L.C. Souza e C.H.V.R. Oliveira, *Ambient. constr.* **19**, 303 (2019).
- [14] G. Lopes Filho, R.A.P. Franco e F.H.T. Vieira, *TEMA (São Carlos)* **21**, 157 (2020).
- [15] <https://github.com/julio-fs/Calculos-estatisticos-para-corrente-tensao-e-1--Lei-de-Ohm/blob/master/EstatisticaTensao.ipynb>, acessado em 18/01/2021.
- [16] <https://github.com/julio-fs/Calculos-estatisticos-para-corrente-tensao-e-1--Lei-de-Ohm/blob/master/EstatisticaCorrente1.ipynb>, acessado em 18/01/2021.
- [17] <https://github.com/julio-fs/Calculos-estatisticos-para-corrente-tensao-e-1--Lei-de-Ohm/blob/master/EstatisticaCorrente2.ipynb>, acessado em 18/01/2021.
- [18] <https://github.com/julio-fs/Calculos-Estatisticos-para-Corrente-Tensao-e-Primeira-Lei-de-Ohm/blob/master/CalculosPrimeiraLeideOhm.ipynb>, acessado em 18/01/2021.
- [19] L.E. Borges, *Python para Desenvolvedores* (Novatec Editora, Rio de Janeiro, 2010), 2ª ed.