

Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica 3

Jorge González Aguilera
Alan Mario Zuffo
(Organizadores)



Jorge González Aguilera

Alan Mario Zuffo

(Organizadores)

Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica 3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Karine de Lima
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
C569	<p>Ciências exatas e da terra e a dimensão adquirida através da evolução tecnológica 3 [recurso eletrônico] / Organizadores Jorge González Aguilera, Alan Mario Zuffo. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida Através da Evolução Tecnológica; v. 3)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-474-0 DOI 10.22533/at.ed.740191107</p> <p>1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. 2. Tecnologia. I. Aguilera, Jorge González. II. Zuffo, Alan Mario</p> <p style="text-align: right;">CDD 509.81</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “*Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica vol. 3*” aborda uma publicação da Atena Editora, apresenta, em seus 23 capítulos, conhecimentos tecnológicos e aplicados as Ciências Exatas e da Terra.

Este volume dedicado à Ciência Exatas e da Terra traz uma variedade de artigos que mostram a evolução tecnológica que vem acontecendo nestas duas ciências, e como isso tem impactado a vários setores produtivos e de pesquisas. São abordados temas relacionados com a produção de conhecimento na área da matemática, química do solo, computação, geoprocessamento de dados, biodigestores, educação ambiental, manejo da água, entre outros temas. Estas aplicações visam contribuir no aumento do conhecimento gerado por instituições públicas e privadas no país.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos nas Ciências Exatas e da Terra, os agradecimentos dos Organizadores e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias para a área da Física, Matemática, e na Agronomia e, assim, contribuir na procura de novas pesquisas e tecnologias que possam solucionar os problemas que enfrentamos no dia a dia.

Jorge González Aguilera

Alan Mario Zuffo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ACURÁCIA TEMÁTICA DE DADOS GEOESPACIAIS CONFORME A ET-CQDG	
Rodrigo Wanderley de Cerqueira Ana Cláudia Bezerra de Albuquerque Borborema de Andrade Alex de Lima Teodoro da Penha Fábio Dayan Soares de Melo	
DOI 10.22533/at.ed.7401911071	
CAPÍTULO 2	13
UM PANORAMA GERAL SOBRE A CALIBRAÇÃO DINÂMICA DE TRANSDUTORES DE PRESSÃO PIZOELETRICOS	
Flávio Roberto Faciolla Theodoro Maria Luisa Colucci da Costa Reis Carlos D'Andrade Souto	
DOI 10.22533/at.ed.7401911072	
CAPÍTULO 3	20
ANÁLISE DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL ATRAVÉS DE SISTEMAS IMUNOLÓGICOS ARTIFICIAIS	
Rafaela Pereira Segantim Mara Lúcia Martins Lopes Fábio Roberto Chavarette	
DOI 10.22533/at.ed.7401911073	
CAPÍTULO 4	30
ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DO PROTOCOLO DE ROTEAMENTO RIP: UM ESTUDO DE CASO SOBRE O ASPECTO DE SEGURANÇA NO RIPV2	
Charles Hallan Fernandes dos Santos Lucivânia da Silva Souza Felipe Sampaio Dantas Silva	
DOI 10.22533/at.ed.7401911074	
CAPÍTULO 5	40
ANÁLISES DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO E ESQUEMAS DE PINTURAS EM CHAPAS DE AÇO ASTM A242 E AÇO CARBONO SAE 1020	
Rafaela Vale Matos	
DOI 10.22533/at.ed.7401911075	
CAPÍTULO 6	45
APLICAÇÃO DE ESFERAS DE QUITOSANA E ESFERAS DE QUITOSANA MODIFICADA COM NANOPÁRTÍCULA MAGNÉTICA (MAGNETITA) EM ANÁLISE DE ADSORÇÃO PARA O ÍON METÁLICO CROMO (VI)	
Andréa Claudia Oliveira Silva Maria José de Oliveira Pessoa	
DOI 10.22533/at.ed.7401911076	

CAPÍTULO 7	55
AVALIAÇÃO METROLÓGICA DE ANALISADORES DE QUALIDADE DE ENERGIA	
Rodrigo Rodrigues Nascimento Zampilis	
Marcelo Britto Martins	
DOI 10.22533/at.ed.7401911077	
CAPÍTULO 8	62
AXIOMAS FUNDAMENTAIS EM SISTEMAS DE MONITORAMENTO: UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL PARA O MÉTODO DA IMPEDÂNCIA ELETROMECCÂNICA	
Caio Henrique Rodrigues	
Guilherme Silva Bergamim	
DOI 10.22533/at.ed.7401911078	
CAPÍTULO 9	75
VISÃO CEGA	
Vitoria Camargo da Silva	
Erinaldo Sanches Nascimento	
Fabiana Calisto Trevisan	
José Roberto Parra	
DOI 10.22533/at.ed.7401911079	
CAPÍTULO 10	86
CÉU ACESSÍVEL: APLICATIVO NA PLATAFORMA ANDROID PARA O ENSINO DE ASTRONOMIA PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL	
Ana Carolina Sampaio Frizzera	
Danielli Veiga Carneiro Sondermann	
Athyla Caetano	
Giovana Dewes Munari	
Caroline Azevedo Rosa	
Péricles José Ferreira	
Ronaldo Leffler	
Gabriel Barcellos Kretli Lopes	
DOI 10.22533/at.ed.74019110710	
CAPÍTULO 11	97
DETERMINAÇÃO TEÓRICA DO TEMPO DE ACELERAÇÃO EM 30 METROS PARA UM VEÍCULO BAJA SAE A PARTIR DO PRINCÍPIO DO IMPULSO	
Daiane Sampaio Fernandes	
Mateus Coutinho de Moraes	
Miguel Ângelo Menezes	
DOI 10.22533/at.ed.74019110711	
CAPÍTULO 12	105
DILATAÇÃO DE VEÍCULOS TANQUE RODOVIÁRIO	
Luciano Bruno Faruolo	
Edisio Alves de Aguiar Junior	
DOI 10.22533/at.ed.74019110712	

CAPÍTULO 13	110
EFEITO DA VARIAÇÃO DO VALOR DA DENSIDADE LATERAL RELACIONADA À SEPARAÇÃO GEOIDE-QUASEGEOIDE NA REGIÃO DE PORTO ALEGRE RS – ESTUDO DE CASO	
Roosevelt De Lara Santos Jr.	
DOI 10.22533/at.ed.74019110713	
CAPÍTULO 14	118
ELECTROCHEMICAL SENSING OF OH RADICALS AND RADICAL SCAVENGERS BASED ON POLY(METHYLENE BLUE)-MODIFIED ELECTRODE	
Maurício Hilgemann Marcelo Barcellos da Rosa	
DOI 10.22533/at.ed.74019110714	
CAPÍTULO 15	131
ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE MICRO GERAÇÃO RESIDENCIAL EM UM AMBIENTE MICRO REDE, CONSIDERANDO DIFERENTES CENÁRIOS	
Luiz Guilherme Piccioni de Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.74019110715	
CAPÍTULO 16	141
EXPRESSÃO GRÁFICA E OFICINAS PEDAGÓGICAS: CONTRIBUIÇÕES PARA A APRENDIZAGEM DE MATEMÁTICA BÁSICA	
Alessandra Assad Angieski Heliza Colaço Góes Davi Paula da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.74019110716	
CAPÍTULO 17	155
LOGÍSTICA DA DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE SAÚDE DOS PRINCIPAIS HOSPITAIS DE ARACAJU/SE	
Ana Lúcia Oliveira Filipin Cleverton dos Santos Izabel Cristina Gomes de Oliveira Ana Sophia Oliveira Filipin	
DOI 10.22533/at.ed.74019110717	
CAPÍTULO 18	161
LUNAPPTICO: SOFTWARE DE TECNOLOGIA ASSISTIVA UTILIZADO NA COMUNICAÇÃO DE CRIANÇAS AUTISTAS DO ESTADO DO RN	
Elizeu Sandro da Silva Alyson Ricardo De Araújo Barbosa. Joêmia Leilane Gomes de Medeiros Welliana Benevides Ramalho Andrezza Cristina da Silva Barros Souza	
DOI 10.22533/at.ed.74019110718	

CAPÍTULO 19	180
MODELAGEM DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA MÓVEL COLABORATIVO PARA DEFICIENTES FÍSICOS Sivoney Pinto Dias Helder Guimarães Aragão DOI 10.22533/at.ed.74019110719	
CAPÍTULO 20	194
MODELAGEM E PROGRAMAÇÃO DE UMA PLATAFORMA DE STEWART Rodolfo Gabriel Pabst Roberto Simoni Maurício de Campos Porath Milton Evangelista de Oliveira Filho Antônio Otaviano Dourado DOI 10.22533/at.ed.74019110720	
CAPÍTULO 21	207
SISTEMA DE NOTIFICAÇÕES POR MENSAGENS DE CELULAR PARA MONITORAMENTO EM ATIVOS DE REDE César Eduardo Guarienti Igor Breno Estácio Dutra de Oliveira Thiago H. da C. Silva Raphael de Souza Rosa Gomes DOI 10.22533/at.ed.74019110721	
CAPÍTULO 22	213
MONTAGEM DE UM ARRANJO EXPERIMENTAL DIDÁTICO PARA O ESTUDO DA ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA Ernando Silva Ferreira Ricardo Macedo Borges Boaventura Juan Alberto Leyva Cruz DOI 10.22533/at.ed.74019110722	
CAPÍTULO 23	225
O NOVO (E ATUAL) SI E O SEU IMPACTO NA METROLOGIA ELÉTRICA NO BRASIL Regis Pinheiro Landim Helio Ricardo Carvalho DOI 10.22533/at.ed.74019110723	
SOBRE OS ORGANIZADORES	240

MONTAGEM DE UM ARRANJO EXPERIMENTAL DIDÁTICO PARA O ESTUDO DA ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA

Ernando Silva Ferreira

Universidade Estadual de Feira de Santana,
Departamento de Física
Feira de Santana - Bahia

Ricardo Macedo Borges Boaventura

Universidade Estadual de Feira de Santana,
Departamento de Física
Feira de Santana – Bahia

Juan Alberto Leyva Cruz

Universidade Estadual de Feira de Santana,
Departamento de Física
Feira de Santana – Bahia

RESUMO: A Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE) - também conhecida como EIS (do inglês-*Electrochemical Impedance Spectroscopy*)- é um dos métodos mais informativos no desenvolvimento de sensores de afinidade e de biossensores. Esta técnica é especialmente bem aplicada nos sensores baseados em eletrodos modificados por camadas de polímeros semicondutores, bem como nos sensores de afinidade baseados em polímeros condutores molecularmente. No entanto, o preço de um equipamento profissional ainda é extremamente proibitivo para grupos de pesquisa emergentes. Além disso, a sua utilização por estudantes iniciantes na área é de difícil compreensão. Neste trabalho, reunimos alguns dos principais conceitos teóricos, bem

como uma instrumentação básica, utilizados na introdução de iniciantes nesta área. O arranjo experimental consiste de um gerador de tensão alternada, para alimentar o sistema; um osciloscópio de duplo canal (5MHz), para obtenção dos dados necessários para a construção dos gráficos; além de resistores e capacitores para simular a célula eletroquímica.

PALAVRAS-CHAVE: Espectroscopia de Impedância Eletroquímica; Instrumentação; Eletroquímica.

ASSEMBLY OF AN EXPERIMENTAL DIDACTIC ARRANGEMENT FOR THE STUDY OF ELECTROCHEMICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY

ABSTRACT: Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) is one of the most informative methods in the development of affinity sensors and biosensors. It is especially well applied in sensors based on electrodes modified by semiconductor polymer layers, as well as in affinity sensors based on molecularly conductive polymers. However, the price of professional equipment is still extremely prohibitive for emerging research groups. In addition, its use by beginning students in the area is difficult to understand. In this work, we gathered some of the main theoretical concepts, as well as a basic

instrumentation, used in the introduction of beginners in this area. The experimental arrangement consists of an alternating voltage generator to power the system; a double channel oscilloscope (5MHz), to obtain the necessary data for the construction of the graphs; as well as resistors and capacitors to simulate the electrochemical cell.

KEYWORDS: Electrochemical Impedance Spectroscopy; Instrumentation; Electrochemistry.

1 | INTRODUÇÃO

Dentre as várias etapas de fabricação de biossensores, destaca-se a etapa do estudo da interação entre biomoléculas e substratos que pode ser estudado por diversas técnicas de caracterização; uma delas é a caracterização por Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE) - também conhecida como EIS (do inglês-*Electrochemical Impedance Spectroscopy*). Esta técnica vem tornando-se indispensável em diversas áreas da Física, Química, Engenharias e Ciência dos Materiais. Ela é aplicada com sucesso na caracterização de superfícies de biossensores (MORKVRNAITE-VILKONCIENCE, 2015) e na avaliação de sinais bioanalíticos gerados por biossensores (MORKVRNAITE-VILKONCIENCE, 2015; RAMANAVICIUS, A, 2006; RAMANAVICIUS, A., 20014), no estudo de eletrodos, corrosão de superfícies, ação antioxidante de fármacos etc. Pesquisas têm demonstrado que a EIE pode ser aplicada com êxito na avaliação de multicamadas separadas, que são utilizadas em sensores de glicose (RAMANAVICIUS, A., 2006; RAMANAVICIUS, A., 2014). Este método de caracterização é um dos mais informativos dentre muitos métodos eletroquímicos recentemente disponíveis no desenvolvimento de sensores de afinidade e de biossensores (RAMANAVICIUS, A., 2014). Ela é especialmente bem aplicada nos sensores baseados em eletrodos modificados por camadas de polímeros semicondutores (OZTEKIN, Y., 2011), bem como nos sensores de afinidade baseados em polímeros condutores (como o polipirrol) molecularmente impressos (MIPs-do inglês *Molecularly Imprinted Polymer*), que podem ser impressos por moléculas de baixa massa molecular, como a teofilina (RAMANAVICIENE, A., et al, 2004), cafeína (RATAUTAITE, V., et al, 2014) ou por grandes moléculas, como proteínas (RATAUTAITE, V., et al, 2015) e até mesmo o DNA (RAMANAVICIENE, A. et al, 2006).

Apesar de útil, eficiente e muito utilizada por grandes centros de pesquisa na caracterização de sistemas eletroquímicos, o investimento em um equipamento comercial desta técnica ainda é extremamente proibitivo para grupos de pesquisa emergentes e até mesmo para a maioria das universidades brasileiras, contribuindo para que alguns conceitos físicos, tais como corrente alternada e impedância, só para citar alguns, não recebam a devida importância em alguns cursos de graduação em Física. Embora existam na literatura vários textos sobre espectroscopia de impedância, alguns apresentam uma abordagem técnica muito distante da realidade de quem não tem contato com o equipamento. Outros, embora mais próximos do esperado,

deixam a desejar por falta de informações indispensáveis para o entendimento funcional da técnica. Neste trabalho buscamos organizar os principais conceitos teórico e experimental extraídos da literatura, sobre a técnica de Espectroscopia de Impedância eletroquímica, na sequência que entendemos ser adequada para sua melhor compreensão por parte de estudante de iniciação científica no nosso grupo de pesquisa. O resultado do deste trabalho, portanto, foi a produção de textos e a montagem de um arranjo experimental didático, cuja principal função é servir de facilitador no entendimento e utilização da técnica Espectroscopia de Impedância Eletroquímica por alunos de graduação que estejam ingressando no nosso grupo de pesquisa. Além disso, o arranjo experimento poderá ser utilizado futuramente no laboratório de aulas práticas do curso de Física nas quais se realizem medidas de impedância, e sua dependência com a frequência de oscilação da fonte, facilitando o entendimento do efeito da corrente alternada sobre diversos circuitos. Este poderá ainda ser utilizada na caracterização de sistemas eletroquímicos compostos com eletrodos modificados por filmes automontados pela adsorção de biomoléculas, os quais são utilizados para o estudo da interação entre biomoléculas e substratos sintéticos, bem como na fabricação de sensores de biomoléculas.

É importante ressaltar que este trabalho está muito longe de constituir uma obra completa sobre a Espectroscopia de Impedância Eletroquímica. Interessados em estudo mais aprofundados devem buscar outras fontes, como normas técnicas do fabricante do equipamento, livros, artigos etc.

2 | REVISÃO TEÓRICA

O conceito de resistência elétrica é, basicamente, a habilidade que um circuito apresenta de resistir à passagem de uma corrente elétrica. Da lei de Ohm (equação 1), temos que a resistência é definida pela razão entre a tensão V e a corrente I .

$$R = \frac{V}{I} \quad (1)$$

No entanto, essa relação só é válida para resistores ideais, um conceito altamente simplificado e utilizado em situações-problema hipotéticas. Um resistor ideal obedece à lei de Ohm em qualquer faixa de corrente ou tensão, sua resistência não varia e um sinal em corrente alternada (AC) mantém sua fase ao passar por ele.

No mundo real são encontrados sistemas muito mais sofisticados do que esse e que exibem comportamentos bastante complexos. Isso traz a necessidade da introdução do conceito de impedância, que é mais geral do que a resistência. A impedância também se trata de uma medida da capacidade de um circuito resistir à passagem de uma corrente elétrica, mas sua aplicabilidade não se limita àquelas situações descritas com um resistor ideal (BARD, Allen J. et al, 2000; LOVEDAY, David et al, 2004; BARSOUKOV, Eugenij et al, 2005).

Impedância eletroquímica é medida geralmente aplicando um sinal AC numa célula eletroquímica e medindo a corrente através dela. Supondo que seja aplicado um potencial senoidal através da célula (potencial de excitação), a resposta será outro sinal de corrente AC. Supondo o potencial de excitação V_t como:

$$V_t = V_0 \text{sen}(\omega t) \quad (2)$$

Onde V_0 é a amplitude do sinal, e ω , a frequência angular, dada por $\omega = 2\pi f$, sendo f a frequência linear, dada em Hertz (Hz). Aplicando-se um potencial de excitação suficientemente pequeno, a resposta do sistema deve ser linear, ou seja, uma função senoidal de mesma frequência, porém com uma diferença de fase em relação ao sinal de entrada (figura 1).

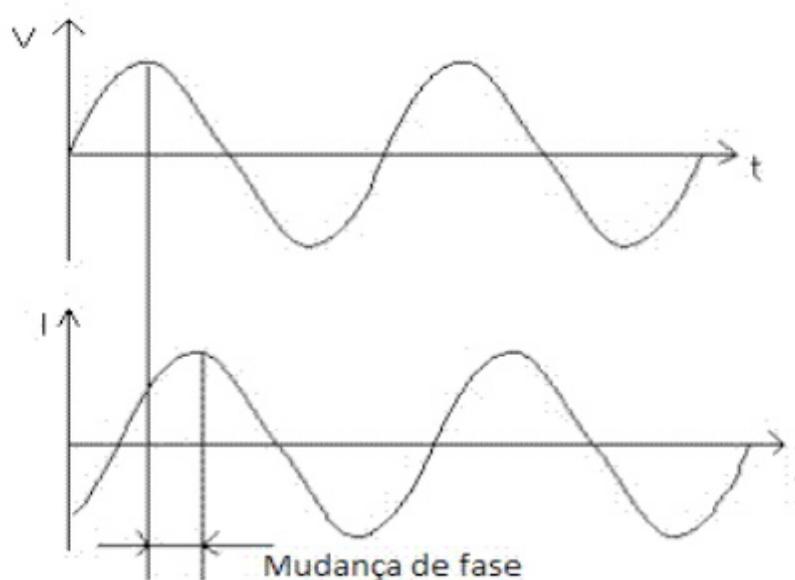


Figura1: Ilustração da diferença de fase entre o potencial de excitação e o sinal de saída.

Assim, podemos montar uma expressão análoga à lei de Ohm para a impedância do sistema:

$$Z = \frac{V_t}{I_t} \quad (4)$$

$$Z = \frac{V_0 \text{sen}(\omega t)}{I_0 \text{sen}(\omega t + \varphi)} \quad (5)$$

$$Z = Z_0 \frac{\text{sen}(\omega t)}{\text{sen}(\omega t + \varphi)} \quad (6)$$

Utilizando a relação de Euler, é possível escrever a impedância como uma

grandeza complexa. Fazendo

$$V_t = V_0 e^{i\omega t} \text{ e } I_t = I_0 e^{(i\omega t - \varphi)} \quad (7)$$

Temos:

$$Z(\omega) = Z_0 e^{i\varphi} \quad (8)$$

$$Z(\omega) = Z_0 (\cos \varphi + i \operatorname{sen} \varphi) \quad (9)$$

2.1 Representações gráficas dos dados da EIE

Os dados da Espectroscopia de Impedância eletroquímica podem ser representados tanto pelo plot de Nyquist quanto pelo plot de Bode. As principais diferenças entre os dois tipos de representação é que no plot Nyquist a frequência não é óbvia e pequenas impedâncias são suprimidas por grandes impedâncias, ao passo que no plot de Bode a frequência aparece explicitamente e pequenas impedâncias na presença de grandes impedâncias são facilmente identificadas; No entanto, os dois tipos de gráficos tem em comum o fato de que os processos de transferência de cargas individuais são resolúvel.

2.1.1 Plot de Nyquist

A equação 9 possui uma parte real e uma imaginária. Se a parte real for plotada no eixo X, e a imaginária, no eixo Y, é montado o chamado plot de Nyquist (figura 2). Nesse plot, a impedância é representada por uma reta de comprimento $|Z|$, cujo ângulo com o eixo X representa o ângulo de fase.

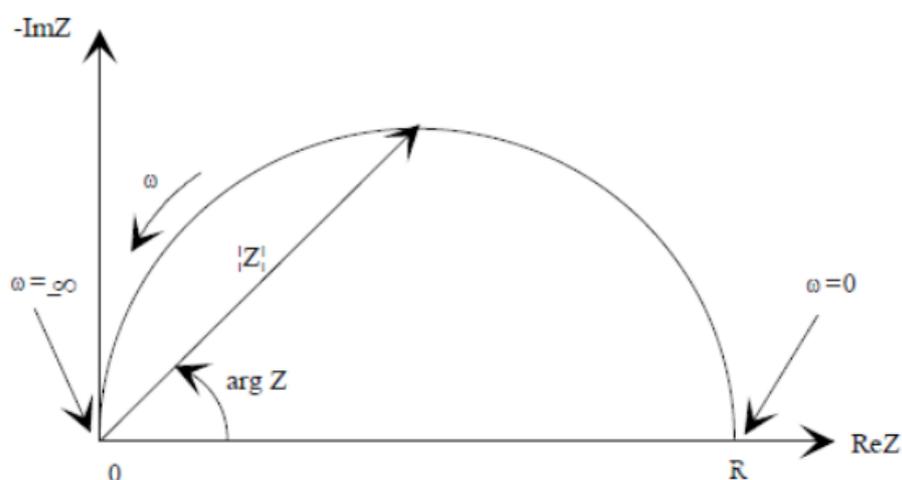


Figura 2: Plot de Nyquist e vetor impedância.

Dessa forma, controlando o sinal de excitação e observando o sinal de saída, é possível estudar a impedância de um circuito ou outro sistema.

2.1.2 Plot de Bode

Para um circuito RLC, submetido a uma corrente na forma $I = I_0 \cos \omega t$, as tensões em cada um desses elementos serão, respectivamente:

$$V_R = RI_0 \cos \omega t \quad (10)$$

$$V_L = L \frac{dI}{dt} = -L\omega I_0 \text{sen} \omega t \quad (11)$$

$$V_L = \omega LI_0 \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (12)$$

$$V_C = \frac{1}{C} \int I dt = \left(\frac{1}{\omega C} \right) I_0 \text{sen} \omega t \quad (13)$$

$$V_C = \left(\frac{1}{\omega C} \right) I_0 \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (14)$$

De (10), (12) e (14) é possível notar que a corrente de saída no resistor está em fase com o sinal de entrada, adiantada em $\pi/2$ no indutor e atrasada em $\pi/2$ no capacitor. Chamando os coeficientes das equações (12) e (14) de X_L e X_C , encontramos expressões análogas à lei de Ohm para esses dois elementos do circuito. Temos

$$V_R = RI \quad (15)$$

$$V_L = X_L I \quad (16)$$

$$V_C = X_C I \quad (17)$$

Onde X_L e X_C são dados em ohms e são chamados de reatância indutiva e capacitiva, respectivamente. A tensão total nesses elementos em série será dada pela soma das tensões em cada um deles. Somando (10), (11) e (13) temos:

$$V = RI_0 \cos \omega t + \left(\frac{1}{\omega C} - L\omega \right) I_0 \text{sen} \omega t \quad (18)$$

Utilizando as relações trigonométricas para a soma de senos e cossenos, podemos escrever a equação (18) como

$$V = \left[I_0 \sqrt{\left(L\omega - \frac{1}{\omega C} \right)^2 + R^2} \right] \cos(\omega t + \varphi) \quad (19)$$

$$V = \left(I_0 \sqrt{(X_L - X_C)^2 + R^2} \right) \cos(\omega t + \varphi) \quad (20)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{X_L - X_C}{R} \right) \quad (21)$$

Com isso, da equação (4), temos que

$$Z = \sqrt{(X_L - X_C)^2 + R^2} , \quad (22)$$

para estes três elementos ligados em série.

Se escrevermos a corrente como uma exponencial complexa, podemos separar a parte real da impedância da parte imaginária da impedância para esse circuito. Se a corrente for escrita na forma $I^* = I_0 e^{i\omega t}$, onde o sobrescrito “*” indica uma grandeza complexa e “i” a unidade imaginária, a tensão total nos elementos do circuito será

$$V^* = \left(R + iL\omega + \frac{1}{i\omega C} \right) I_0 e^{i\omega t} \quad (23)$$

Cuja parte real, pela relação de Euler para a exponencial complexa, resulta em:

$$\text{Re}(V^*) = RI_0 \cos \omega t + \left(\frac{1}{\omega C} - L\omega \right) I_0 \text{sen} \omega t , \quad (24)$$

que é exatamente a equação (18).

Da equação (23), vemos que as reatâncias capacitiva e indutiva também podem ser representadas por grandezas complexas. A soma dessas reatâncias com a resistência (coeficiente entre parênteses na eq. 23) tem dimensão de resistência, e define a impedância complexa.

$$Z^* = R + iL\omega + \frac{1}{i\omega C} = R + i \left(L\omega - \frac{1}{\omega C} \right) \quad (25)$$

$$Z^* = R + i(X_L - X_C) = Z e^{i\varphi} \quad (26)$$

Conhecendo como se comportam a parte real e a parte imaginária da impedância de um circuito, é possível montar seu espectro de impedância plotando os valores da impedância real e complexa contra a frequência do sinal de entrada. Para

este fim, podemos desprezar os termos associados ao indutor L dado que, na técnica da espectroscopia de impedância eletroquímica, o sistema estudado é aproximado para um sistema resistivo-capacitivo equivalente. Levando isso em conta, a equação (26) fica:

$$Z^* = R - iX_c, \quad (27)$$

cujas partes real e imaginária são:

$$\text{Re}(Z^*) = R \quad (28)$$

$$\text{Im}(Z^*) = -X_c = -\frac{1}{\omega C} \quad (29)$$

Com isso, o gráfico de Bode da impedância terá a seguinte forma:

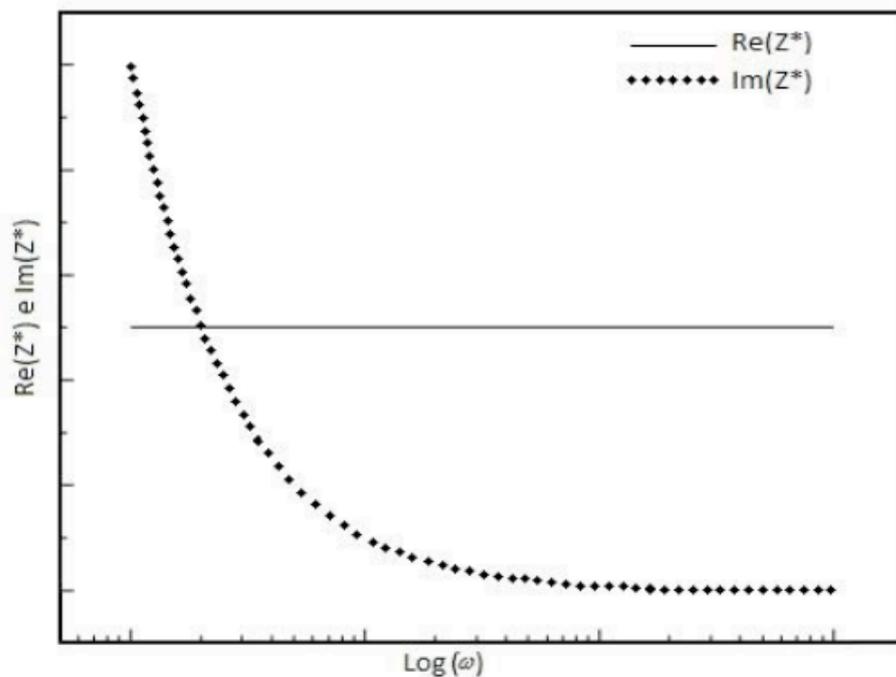


Figura 3: Gráfico de Bode da impedância para um circuito RC ideal em série.

Dada uma amostra como, por exemplo, uma célula eletroquímica, ao submetê-la a um estímulo como uma corrente alternada igual à descrita acima, é possível levantar o espectro de impedância dessa amostra e ajustá-lo ao circuito resistivo-capacitivo equivalente. Dessa forma, podemos levantar os parâmetros da amostra e estudar como estes se comportam de modo a avaliar, por exemplo, como ela se degrada em diferentes condições ou caracterizar os materiais que a compõem.

2.2 Procedimentos experimentais

A diferença de fase entre a onda que entra no circuito (v_e) e a onda que sai do circuito (v_s) é representada pelo ângulo ϕ . Este pode ser determinado por uma simples regra de três. Pois, se considerarmos que em um dado intervalo de tempo, Δt segundos, o argumento de v_i varia de ϕ radianos, e durante um intervalo de tempo correspondente a um período τ varia de 2π radianos, então $\phi/\Delta t = 2\pi/\tau$, resultando em $\phi=2\pi\Delta t/\tau$. Como o período τ está relacionado com a frequência linear f por $1/\tau=f$, e com a frequência angular ω por $2\pi/\tau=\omega$, podemos expressar ϕ nas seguintes formas:

$$\phi = 2\pi f\Delta t \text{ ou } \phi = \omega\Delta t \quad (30)$$

É importante mencionar que embora a diferença de fase ϕ possa assumir valores tanto positiva como negativa, o valor de ϕ determinado pela Eq. (30) será sempre dado em módulo (CHINAGLIA, D. L. et al, 2008).

3 | MATERIAIS E MÉTODO

O arranjo experimental consiste de um gerador de função, para fornecer o potencial de excitação; um osciloscópio de duplo canal, para leitura da mudança de fase entre o potencial de excitação e o sinal de saída; e um aparato desenvolvido em uma caixa de montagem para manipulação dos circuitos utilizados. A figura 4 mostra um esquema da montagem.

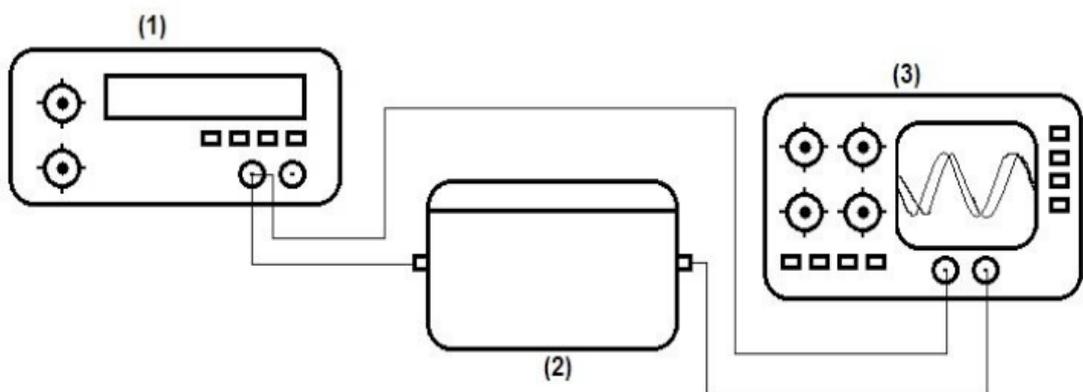


Figura 4: Esquema da montagem experimental. (1); Gerador de função, (2); caixa de montagem dos circuitos, (3); osciloscópio.

A caixa de montagem de circuitos (figura 5) consiste numa matriz de contatos ligada a conexões BNC para alimentação do sinal de entrada e extração do sinal de saída.



Figura 5: Aparato desenvolvido para montagem dos circuitos utilizados como modelo de um sistema eletroquímico.

Dentro da caixa é o a colocado um resistor conhecido, ligado em série com circuito que mimetiza uma determinada célula eletroquímica.

O sinal de gerador de função é bifurcado, de modo que uma parte alimenta o circuito e a outra vai para o canal 1 do osciloscópio, e a saída da caixa é ligada ao canal 2 do osciloscópio.

4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

Construído o aparato e montado o arranjo experimental, foram realizados testes com circuitos resistivos e capacitivos, a fim de registrar as alterações no potencial de excitação mediante análise do sinal de saída do circuito, bem como as diferenças de fase entre os dois sinais. A figura 6 mostra os sinais obtidos para um capacitor de $220\mu\text{F}$.

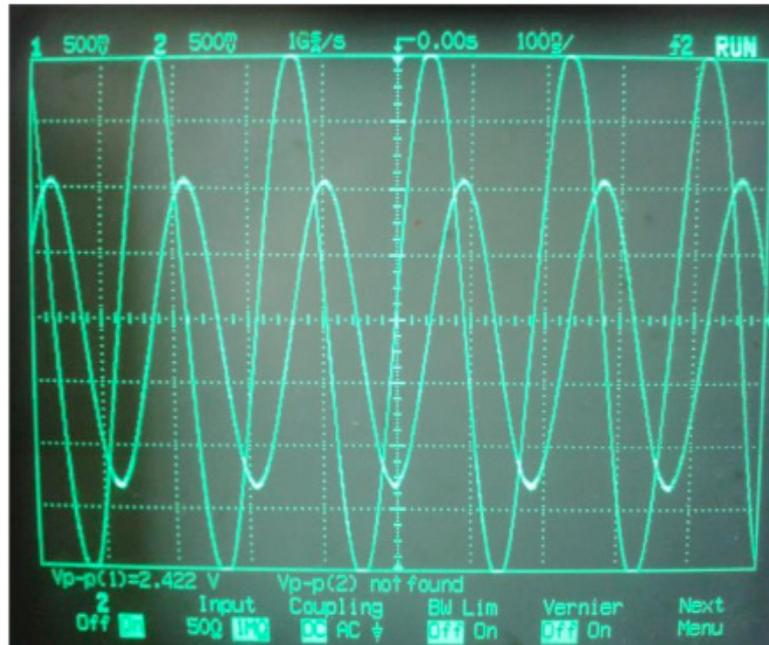


Figura 6: Alteração na fase do potencial de excitação para um capacitor de $220\mu\text{F}$

O resultado acima é esperado de acordo com a literatura, pois um capacitor deve alterar a fase de um sinal AC que passa por ele[4]. Isso sugere que o componente em questão deve obedecer ao plot de Nyquist e Bode, no entanto, não foi possível registrar novas alterações na fase devido a limitações nos aparelhos utilizados, para esta configuração.

5 | CONCLUSÕES

Embora o aparato desenvolvido apresente os resultados esperados, que seria a leitura na mudança de fase do sinal de entrada, o sistema é limitado. O resultado acima só pode ser observado a partir da faixa de 5MHz, o que já é o limite do gerador de função disponível. Além disso, a resolução do osciloscópio pode não ser suficiente para registrar mudanças diminutas entre as fases dos dois canais. Para evitar esse tipo de inconveniência, pode ser feita uma simulação computacional para se determinar a faixa de valores dos elementos eletrônicos a serem utilizados em cada configuração desejada, de modo a viabilizar a obtenção visual dos dados no osciloscópio utilizado.

Realizando aprimoramentos nesses quesitos, o arranjo experimental desenvolvido poderá ser implementado em laboratórios didáticos para estudo do conceito de impedância e da técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica.

REFERÊNCIAS

BARD, Allen J.; FALKNER, Larry R. **Electrochemical Methods; Fundamentals and Applications**, 2nd ed, New York: Wiley Interscience Publications, 2000.

BARSOUKOV, Eugenij; MACDONALD, James Ross. **Impedance Spectroscopy; Theory, Experiment, and Applications**, 2nd ed. Pondicherry: Wiley Interscience Publications, 2005.

CHINAGLIA, D. L. et al. Espectroscopia de impedância no laboratório de ensino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.30,n.4, p. 4504, fevereiro, 2008.

LOVEDAY, David; PETERSON, Pete; RODGERS, Bob. **Evaluation of organic coatings with electrochemical impedance spectroscopy**. JCT coatings tech, v. 8, p. 46-52, 2004.

MORKVRNAITE-VILKONCIENCE, I. et al. Scanning electrochemical impedance microscopy for investigation of glucose oxidase catalyzed reaction colloids and surfaces. **B-Biointerfaces**, v.126, p.598, 2015.

OZTEKIN, Y. et al, **Square wave voltammetry based determination of copper (II) ions by polylyuteolin- and polykaempferol-modified electrodes**. Talanta v.85, pg.1020, 2011.

RAMANAVICIENE, A. et al, **Pulsed amperometric detection of DNA with an ssDNA/polypyrrole modified electrode**. Anal. Bioanal. Chem. v.379, p. 287, 2004.

RAMANAVICIENE, A. at al, **Basic electrochemistry meets nanotechnology: Electrochemical preparation of artificial receptors based on a nanostructured conducting polymer, polypyrrole**. J. Chem. Educ., v.83, p.1212, 2006.

RAMANAVICIUS, A. et al, **Electrochemical sensors based on conducting polymer—polypyrrole (Review)**. Electrochimical Acta, v.51, p.6025, 2006.

RAMANAVICIUS, A. et al, **Electrochemical impedance spectroscopy based evaluation of 1,10-Phenanthroline-5,6-dione and glucose oxidase modified graphite electrode**. Electrochimical Acta v.146, p.659, 2014.

RAMANAVICIUS, A. et al, **Evaluation of the redox mediating properties of 1,10-Phenanthroline-5,6-dione for glucose oxidase modified graphite electrodes**. J. Electrochem. Soc. V. 161, B31, 2014.

RATAUTAITE, V. at al, **Molecularly imprinted polypyrrole based impedimetric sensor for theophylline determination**. Electrochimical Acta v.130, p.361, 2014.

RATAUTAITE, V. at al, **Characterization of caffeine-imprinted polypyrrole by a quartz crystal microbalance and electrochemical impedance spectroscopy**. Sens. Actuators B: Chem. v.212, p.63, 2015.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Jorge González Aguilera: Engenheiro Agrônomo (Instituto Superior de Ciências Agrícolas de Bayamo (ISCA-B) hoje Universidad de Granma (UG)), Especialista em Biotecnologia pela Universidad de Oriente (UO), CUBA (2002), Mestre em Fitotecnia (UFV/2007) e Doutorado em Genética e Melhoramento (UFV/2011). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no Campus Chapadão do Sul. Têm experiência na área de melhoramento de plantas e aplicação de campos magnéticos na agricultura, com especialização em Biotecnologia Vegetal, atuando principalmente nos seguintes temas: pre-melhoramento, fitotecnia e cultivo de hortaliças, estudo de fontes de resistência para estres abiótico e biótico, marcadores moleculares, associação de características e adaptação e obtenção de vitroplantas. Tem experiência na multiplicação “on farm” de insumos biológicos (fungos em suporte sólido; Trichoderma, Beauveria e Metharrizum, assim como bactérias em suporte líquido) para o controle de doenças e insetos nas lavouras, principalmente de soja, milho e feijão. E-mail para contato: jorge.aguilera@ufms.br

Alan Mario Zuffo: Engenheiro Agrônomo (Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/2010), Mestre em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal do Piauí – UFPI/2013), Doutor em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal de Lavras – UFLA/2016). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS no Campus Chapadão do Sul. Tem experiência na área de Agronomia – Agricultura, com ênfase em fisiologia das plantas cultivadas e manejo da fertilidade do solo, atuando principalmente nas culturas de soja, milho, feijão, arroz, milheto, sorgo, plantas de cobertura e integração lavoura pecuária. E-mail para contato: alan_zuffo@hotmail.com

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-474-0

