

# DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE CARACTERIZAÇÃO POR ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA PARA ENSINO E PESQUISA

Carlos Heitor de Oliveira Barros<sup>1</sup>; Elder Alpes de Vasconcelos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudante do Curso de Engenharia de Produção- CAA – UFPE; E-mail: cheitor41@hotmail.com,

<sup>2</sup>Docente/pesquisador do Núcleo de Tecnologia – CAA – UFPE. E-mail: docente@provedor.

**Sumário:** A espectroscopia de impedância é muito útil para caracterizar o comportamento elétrico de dispositivos eletrônicos e de materiais. Existem aparelhos disponíveis no mercado que fazem essa caracterização de forma muito rápida, mas esses aparelhos são muito caros. Assim, através de aparelhos disponíveis atualmente no laboratório de física do CAA – UFPE, (osciloscópio digital de duplo canal, gerador de sinais de 2 MHz, resistores e capacitores) desenvolvemos um método de caracterização por espectroscopia de impedância. Para validação do método, foram montados alguns circuitos e os resultados foram comparados com os modelos teóricos. O sistema funcionou satisfatoriamente, dentro de limites discutidos nesse trabalho, apresentando boa relação custo-benefício,

**Palavras-chave:** caixa preta; espectroscopia; impedância

## INTRODUÇÃO

A espectroscopia de impedância é uma técnica de medição muito importante para profissionais e estudantes de áreas como a física, físico-química e ciência dos materiais, que necessitam caracterizar o comportamento elétrico de dispositivos eletrônicos. Existem aparelhos disponíveis no mercado que fazem essa caracterização de forma muito rápida, mas esses aparelhos são muito caros. Assim, buscamos desenvolver um método para caracterização desses dispositivos com aparelhos que comumente são encontrados em laboratórios de ensino, tornando mais barata a caracterização desses dispositivos. Conforme Chinaglia et al (2008), a “caixa preta” cujo espectro de impedância  $Z_{cx}$  se quer determinar, está ligada em série a um resistor de referência de resistência  $R$  conhecida (Fig.1). A caixa e o resistor em série são, então, ligados aos geradores. Examina-se a tensão  $V_{CX}$  entre os terminais da caixa e a tensão  $V_R$  entre os terminais do resistor por meio do osciloscópio de duplo canal. O osciloscópio fornece diretamente a amplitude da tensão  $V_{CX}$  e  $V_R$  e a diferença de fase  $\phi$  entre os canais, determinando a impedância através de:

$$Z_{CX} = R \frac{V_{CX}}{V_R} (\cos \phi + i \operatorname{sen} \phi).$$

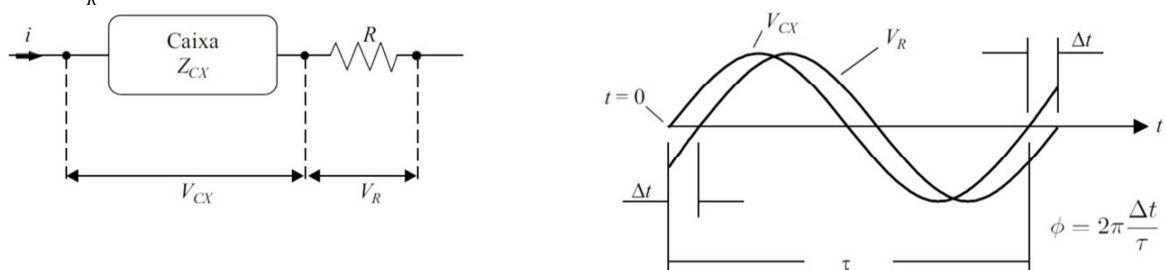


Fig. 1 - Esquema de medição da impedância da “caixa preta”  $Z_{cx}$ .

O espectro é obtido, portanto, ponto a ponto. Porém, com certo grau de automação, pois o osciloscópio utilizado tem capacidade de medir automaticamente  $V_{CX}$ ,  $V_R$  e também  $\phi$ , através da medida de  $\Delta t$  e  $\tau$ .

## MATERIAIS E MÉTODOS

Montou-se uma mesa de trabalho para realizar os experimentos, incluindo: gerador de sinais, osciloscópio, computador para registro dos resultados, protoboard e alguns componentes: capacitores, resistores, indutores, fios e cabos. De posse dos elementos capacitivos e resistivos e dos materiais citados anteriormente, monta-se o circuito. Esse circuito consiste em uma “caixa preta” ligada em série com um resistor, chamado aqui de resistor de referência – uma representação desse circuito é mostrada na Fig. 2. Os detalhes do procedimento de medição são detalhados abaixo.

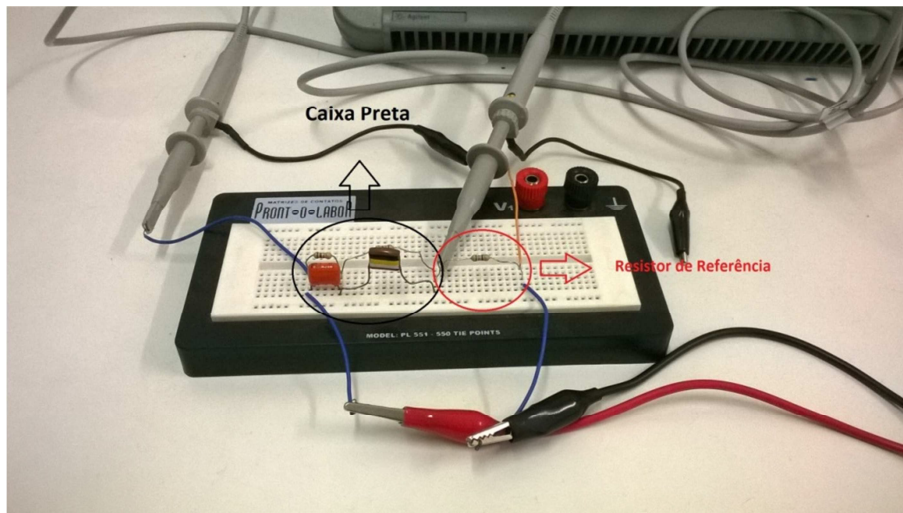


Fig. 2 - Identificação da caixa preta e do resistor de referência.

Com o gerador de sinais ajustado para 10 V pico a pico e com a frequência entre 100 Hz e 2 MHz – capacidade máxima do gerador – pode-se fazer as medidas necessárias, através de um osciloscópio digital de dois canais. Ajusta-se o gerador de sinais para certa frequência e utilizando o canal 1 do osciloscópio, coloca-se a entrada de sinal da ponta de prova no início do circuito, no ponto de ligação com o gerador e a referência (terra) após o resistor de referência, medindo assim a tensão total sobre o circuito. Coloca-se a ponta de prova do canal 2 antes do resistor de referência, medindo apenas a voltagem  $V_R$  (nessa parte, não é necessário usar o terra da ponta de prova do canal 2, pois a ponta de prova do canal 1 já está posicionada). Agora, como se tem uma medida no circuito todo e outra apenas no resistor de referência, pode-se achar a voltagem  $V_{CX}$  usando-se a função MATH do osciloscópio, subtraindo o sinal do Canal 2 do sinal do Canal 1.

Usando a função CURSOR do osciloscópio, ajusta-se um dos cursores no ponto em que a onda gerada pelo canal 2 atravessa o eixo X. Ajusta-se outro cursor em um dos pontos onde a onda gerada pela função MATH atravessa o eixo X (esse ponto deve ser o mais próximo do ponto escolhido para o canal 2). Automaticamente, o osciloscópio nos dá a informação da defasagem (em tempo) de uma onda em relação à outra, identificada pela sigla  $\Delta X$ . Depois disso, utilizando a função MEASURE do osciloscópio, escolhendo como fonte o canal 1 e apertando-se o botão corresponde à medida de tempo, mede-se o período da onda no canal 1. Depois, muda-se a fonte para o canal 2 para medir a tensão máxima que a onda alcança, chamada aqui de  $V_R$ . Repete-se o mesmo procedimento para a onda gerada pela função MATH, chamada aqui de  $V_{cx}$ . A partir desses dados, pode-se calcular a defasagem entre as ondas que atravessam o resistor de referência e a caixa preta, utilizando

a fórmula mostrada a seguir, onde  $\Delta X$  é a defasagem em tempo encontrada anteriormente e  $\tau$  é o período da onda do canal 1.

$$\phi = 2\pi \frac{\Delta X}{\tau}$$

Sabendo a defasagem entre as ondas, pode-se enfim chegar ao valor da impedância. A partir de  $V_R$  e  $V_{cx}$ , calcula-se a impedância do circuito na frequência, através de:

$$Z_{cx} = \frac{V_{cx}}{I} (\cos\phi + j \sin\phi)$$

Este procedimento é repetido para todas as frequências. Dessa forma, obtemos um gráfico das componentes real e imaginária em função da frequência ou um gráfico da componente imaginária em função da componente real. Um exemplo é discutido a seguir.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os diferentes circuitos montados, utilizamos uma combinação série de 2 circuitos RC paralelos, porém utilizando capacitores eletrolíticos. Esse caso será detalhado agora. Os capacitores eletrolíticos possuem valor de capacitância elevados, porém têm corrente de fuga elevada e somente são apropriados para uso em baixas frequências. Pudemos verificar isso com o nosso sistema. Após realizar as medidas, verificamos que conseguíamos um ajuste com o circuito equivalente mostrado na Fig. 3, na qual R3 e R4, R5 e R6 representam a não-idealidade desses capacitores. Surge um resistor de alta resistência em paralelo (correntes de fuga) e outro de baixa resistência em série (perdas no eletrólito). Uma primeira aproximação foi conseguida com  $R1 = 987,5 \Omega$ ;  $R2 = 665,9 \Omega$ ;  $R3=R5=600,0 \Omega$ ;  $R4=R6=0,1 \Omega$ ;  $C1 = 423 \text{ nF}$ ;  $C2 = 100,9 \text{ nF}$ . O resistor de referência usado para as medidas foi de  $685 \Omega$ . O gráfico da componente imaginária em função da componente real é mostrado na Fig. 4.

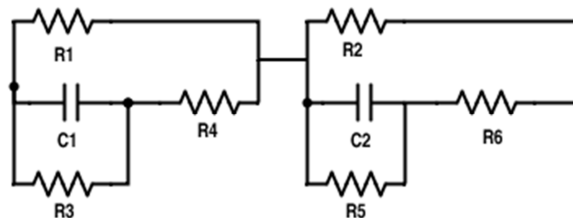


Fig. 3 - Diagrama do circuito equivalente (desenho feito usando a ferramenta Scheme-it).

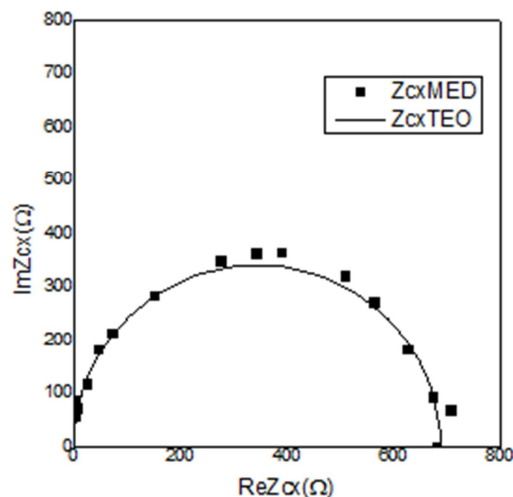


Fig. 4 - Componente imaginária em função da componente real.

## CONCLUSÕES

Desenvolvemos um sistema de espectroscopia de impedância de baixo custo, a partir de aparelhos disponíveis no Laboratório de Física do CAA – UFPE: osciloscópio digital de duplo canal, um gerador de sinais até 2 MHz, resistores e capacitores. O sistema foi testado com diferentes circuitos. Os resultados experimentais foram comparados com os resultados teóricos, encontrados através de rotinas desenvolvidas com o Mathematica e com o software EIS Spectrum Analyser. Os resultados foram satisfatórios, considerando-se o baixo custo do sistema. O sistema pode ser utilizado para fins didáticos, no treinamento dessa técnica de caracterização, bem como para pesquisa, respeitando-se os limites práticos. O sistema pode ser aperfeiçoado e ainda manter um custo mais baixo do que um equipamento dedicado, melhorando-se o gerador de sinais o osciloscópio e com o uso de décadas resistivas e capacitivas.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPQ pelo apoio financeiro ao bolsista.

## REFERÊNCIAS

D.L. Chinaglia, G. Gozzi, R.A.M. Alfaro e R. Hessel, Espectroscopia de impedância no laboratório de ensino, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 4, 4504-1 (2008).

Mario F. Alves, ABC do Osciloscópio, ISEP, Porto, 66 páginas, 2007.

M. Lampela, T. Repo, R. Silvennoinen, L. Finér. Equivalent electrical circuit model for system containing quartz sand and purified water, METLA (2006).