



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

RICARDO DO MONTE

**USO DE UM CIRCUITO ELÉTRICO SIMPLES DE CORRENTE ALTERNADA
COMO RECURSO DIDÁTICO PARA O APRENDIZADO DA TÉCNICA DE
ESPECTROSCOPIA DIELÉTRICA EM CRISTAIS LÍQUIDOS**

Maringá
2012

RICARDO DO MONTE

**USO DE UM CIRCUITO ELÉTRICO SIMPLES DE CORRENTE ALTERNADA
COMO RECURSO DIDÁTICO PARA O APRENDIZADO DA TÉCNICA DE
ESPECTROSCOPIA DIELETRICA EM CRISTAIS LÍQUIDOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
(Monografia) apresentado à UEM -
Universidade Estadual de Maringá -
como requisito parcial para a obtenção
do título de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Newller Marcelo
Kimura

Maringá
2012

RICARDO DO MONTE

**USO DE UM CIRCUITO ELÉTRICO SIMPLES DE CORRENTE ALTERNADA
COMO RECURSO DIDÁTICO PARA O APRENDIZADO DA TÉCNICA DE
ESPECTROSCOPIA DIELÉTRICA EM CRISTAIS LÍQUIDOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
(Monografia) apresentado à UEM -
Universidade Estadual de Maringá -
como requisito parcial para a obtenção
do título de Licenciado em Física.

Aprovado em ____ / ____ / _____

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Newller Marcelo Kimura – Orientador
Departamento de Física – UEM

Prof. Dr. José Roberto Dias Pereira
Departamento de Física – UEM

Prof. Dr. Anderson Reginaldo Sampaio
Departamento de Física – UEM

Maringá
2012

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a execução deste trabalho. Em especial:

Aos meus pais que sempre acreditaram em mim e me deram apoio em todos os momentos, e a todos da minha família, que de alguma forma sempre me ajudaram.

Aos meus colegas de curso pelos bons momentos, alegrias e dificuldades que passamos juntos nessa jornada da graduação.

Ao Prof. Dr. Newller Marcelo Kimura, meu orientador e amigo de todas as horas, que acompanhou durante o desenvolvimento da monografia e nos esclarecimentos das dúvidas durante a vigência do trabalho, sem os quais este trabalho não teria sido realizado.

Ao Prof. Dr. José Roberto Dias Pereira, pelas dicas valiosas para a parte experimental do trabalho.

A todos os professores que fizeram parte dessa minha história acadêmica, contribuindo cada dia para o meu crescimento profissional.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai, Constancio, que sempre me deu apoio e incentivo para estudar e que sempre acreditou no meu potencial. Aos meus grandes irmãos, Charles, Alexandre, e Adriano por torcerem por mim nessa minha jornada na graduação.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo mostrar que a técnica de espectroscopia dielétrica em cristais líquidos pode ser direcionada para a aprendizagem de maneira bem simplificada, utilizando instrumentos menos sofisticados e um circuito elétrico simples em corrente alternada. O arranjo experimental utiliza um gerador de funções como fonte AC para alimentar o circuito e um osciloscópio de duplo canal para medir tanto a parte real como a imaginária da impedância complexa para uma suposta amostra de cristal líquido representada por um modelo elétrico, no qual consiste em um circuito RC paralelo. A partir dos resultados obtidos, verifica-se a validade da utilização deste recurso para a aprendizagem, bem como a viabilidade por necessitar apenas de recursos menos sofisticados normalmente disponíveis na maioria dos laboratórios de física básica.

Palavras-chave: espectroscopia de impedância, circuitos AC, laboratório de ensino.

ABSTRACT

The present study aimed to show that the technique of dielectric spectroscopy in liquid crystals can be directed to learning so much simplified, using less sophisticated instruments and a simple electrical circuit in alternating current. The experimental setup includes an function generator as a source to power the AC circuit and a dual channel oscilloscope to measure both the real and imaginary part of the complex impedance for a supposed sample of liquid crystal represented by an electric model, which consists of parallel RC circuit. From the results obtained, it appears that it is valid to use this resource for learning, as well as the viability by only requires less sophisticated features normally available in most laboratories of basic physics.

Key-words: impedance spectroscopy, AC circuits, teaching lab.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
1.1.	OBJETIVO GERAL.....	9
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
1.3.	JUSTIFICATIVA.....	10
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1.	IMPEDÂNCIA ELÉTRICA.....	11
2.2.	REPRESENTAÇÃO DA IMPEDÂNCIA NO PLANO COMPLEXO.....	16
2.3.	EPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA.....	19
2.3.1.	DIMENSÃO TEÓRICA.....	19
2.3.2.	ESPECTROS DE IMPEDÂNCIA.....	20
2.4.	ESPECTROSCOPIA DIELÉTRICA EM CRISTAIS LÍQUIDOS.....	24
3.	METODOLOGIA	26
3.1.	ABORDAGEM INTRODUTÓRIA.....	26
3.2.	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	26
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
5.	CONCLUSÕES	34
6.	REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

A espectroscopia dielétrica é uma técnica considerada poderosa para a investigação de fluídos complexos como o caso dos cristais líquidos. Esta técnica é relativamente nova e tem sido largamente utilizada em várias áreas da ciência sendo muito útil para a caracterização elétrica de materiais.

A técnica é bastante simples, e consiste em analisar o comportamento elétrico de um material, sendo que o espectro de impedância para cada tipo de material é obtido construindo-se num gráfico a parte real e a parte imaginária da impedância complexa, e como esta técnica faz o uso da impedância complexa, apresentaremos também uma introdução da impedância no formalismo dos números complexos.

A idéia do trabalho é propor um método simplificado que se assimile com equipamentos bem sofisticados em termos de princípio de funcionamento para reforçar a familiarização da técnica de espectroscopia dielétrica e com o princípio de funcionamento dos equipamentos comerciais, utilizando equipamentos menos sofisticados, normalmente disponíveis num laboratório de graduação.

1.1. OBJETIVO GERAL

Mostrar que a técnica de espectroscopia dielétrica pode ser simplificada utilizando um circuito simples e equipamentos menos sofisticados para essa finalidade.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Calcular a impedância real e imaginária para um dispositivo eletrônico que representará uma amostra de cristal líquido em comportamento elétrico.

Comparar resultados experimentais utilizando o circuito simples proposto, com resultados teóricos bem como resultados obtidos a partir de equipamentos mais sofisticados e verificar posteriormente a viabilidade da utilização de um circuito simples em corrente alternada para a aprendizagem da espectroscopia dielétrica em cristais líquidos.

1.3. JUSTIFICATIVA

A técnica envolve equipamentos tecnológicos e de alto custo para viabilização em laboratórios do ensino superior, e partindo desse pressuposto, compreende-se que pode ser vantajosa a utilização de alternativas mais viáveis e mais simples para essa finalidade. Os equipamentos principais utilizados para esta técnica são os analisadores de impedância, que geralmente têm custo elevado. A utilização de um circuito simples em corrente alternada permitirá a familiarização da técnica e com os princípios de funcionamento de equipamentos comerciais utilizando equipamentos menos sofisticados nos quais permitirão obter a impedância real e imaginária em função da frequência da tensão alternada para um dispositivo eletrônico que simulará a amostra do material.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1. IMPEDÂNCIA ELÉTRICA

A impedância elétrica é definida como a capacidade de um dispositivo apresentar oposição à passagem de corrente elétrica. Em circuito AC, além dos resistores, capacitores e indutores também oferecem resistência à passagem de uma corrente alternada. As resistências que esses elementos opõem à corrente alternada são denominadas resistências reativas ou reatâncias. Do ponto de vista da energia dissipada, a diferença entre resistência e reatância é que numa resistência a energia é dissipada unicamente na forma de calor enquanto que numa reatância a energia é armazenada periodicamente em campos elétricos ou magnéticos sem que haja perdas por calor. A ação conjunta de resistências e reatâncias é definida como impedância. Para o cálculo da impedância, examina-se a tensão em cada um dos componentes em série representados na Fig. 1, supondo que a corrente que flui através deles é do tipo:

$$i = I \cos \omega t \quad (1)$$

onde i é o valor da corrente num instante t qualquer e $\omega = 2\pi f$, sendo f a frequência do gerador.

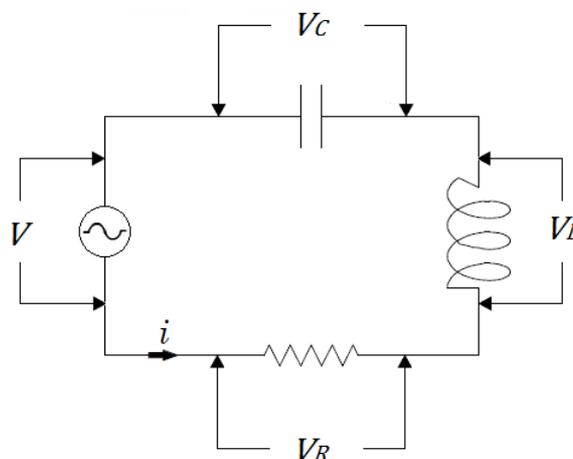


Figura 1 – Corrente i fluindo através de um resistor, um indutor e um capacitor em série ligados a uma fonte AC.

A impedância, representada pela letra Z , é definida pela razão $Z = \frac{V}{I}$, entre o valor da amplitude da tensão elétrica alternada V e a corrente elétrica I através de um dispositivo e as tensões instantâneas v_R , v_C e v_L em R , L e C são dadas respectivamente por:

$$v_R = RI \cos \omega t \quad (2)$$

$$v_C = (\omega L)I \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (3)$$

$$v_L = \left(\frac{1}{\omega C} \right) I \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (4)$$

Estas equações revelam que em relação à corrente, a tensão v_R está em fase, v_L está adiantada de $+90^\circ$ e que v_C está atrasada de -90° . Um capacitor quando submetido a uma corrente alternada, oferece uma oposição à mesma, imposta pelo campo elétrico, denominada reatância capacitiva X_C , onde $X_C = 1/\omega C$. Um indutor, quando percorrido por uma corrente elétrica alternada, oferece uma oposição à passagem da mesma, imposta pelo campo magnético, denominada reatância indutiva X_L , onde $X_L = \omega L$. Uma vez que $\omega = 2\pi f$ é fácil demonstrar que no SI as unidades de X_C e X_L é o ohm (Ω). Os coeficientes RI , $(\omega L)I$ e $(1/\omega C)I$ representam as amplitudes das tensões V_R , V_L e V_C , respectivamente, onde $V_R = RI$, $V_L = (\omega L)I$ e $V_C = (1/\omega C)I$. Sendo $\omega L = X_L$ e $1/\omega C = X_C$, as duas últimas relações podem ser reescritas como $V_L = X_L I$ e $V_C = X_C I$, que são expressões análogas à lei de Ohm. A soma algébrica de (2), (3) e (4) é dado por:

$$v = RI \cos \omega t + \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L \right) I \sin \omega t \quad (5)$$

Utilizando uma relação trigonométrica do tipo $a \cos x + b \sin x$, na qual pode ser expressa na forma $A \cos (x + \phi)$, com $A = \sqrt{a^2 + b^2}$ e $\tan \phi =$

$\frac{-b}{a}$, a Eq. (5) pode ser reescrita da seguinte maneira:

$$v = V \cos(\omega t + \phi) \quad (6)$$

A relação de proporcionalidade entre tensão total máxima atuando nos três elementos em série e a corrente máxima que os atravessa é dado por:

$$V = I \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (7)$$

e,

$$\phi = \arctan \frac{\omega L - 1/\omega C}{R} = \arctan \frac{X_L - X_C}{R} \quad (8)$$

O radical na Eq. (7) é representado pela letra Z , no qual é definido como a impedância dos três elementos em série na Fig. 1. Usando Z , essa equação pode ser escrita como:

$$V = ZI \quad (9)$$

A Eq. (9) é uma expressão análoga à Lei de Ohm, com a impedância Z fazendo o papel de uma resistência equivalente num circuito DC. A expressão:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (10)$$

fornece a impedância somente para elementos em série, no entanto, usando a Eq. (9), pode - se definir a impedância de um circuito mais complexo como a razão entre a tensão total e corrente máximas.

A impedância dos três elementos da Fig. 1 pode ser imaginada como o vetor resultante de dois vetores perpendiculares entre si cujos módulos medem R e $X_L - X_C$, como mostra a Fig. 2. O ângulo ϕ nessa figura representa a defasagem entre a tensão total e a corrente máximas.

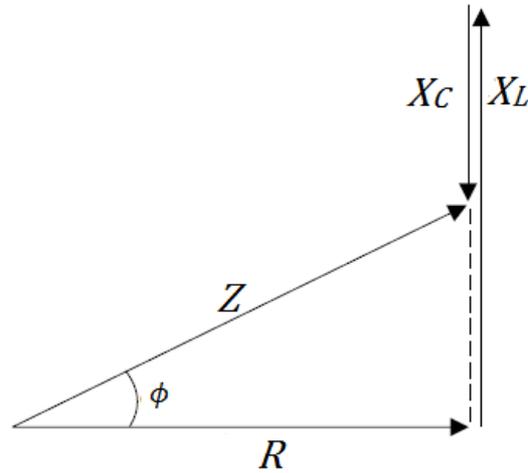


Figura 2 - Representação vetorial da impedância para R , L e C em série.

O diagrama das tensões é semelhante ao diagrama que representa as impedâncias. A Fig. 3 representa o diagrama das tensões girando com frequência angular ω , onde as projeções dos vetores de módulo V_R , V_L , V_C e V sobre o eixo horizontal fornecerão os valores instantâneos v_R , v_L , v_C e v . Nesse diagrama, usualmente denominado como diagrama de fasores, o vetor de módulo I representa a corrente através dos três elementos em série. Ele está na mesma direção do vetor de módulo V_R porque a tensão e corrente num resistor estão sempre em fase; a corrente instantânea Eq. (1) é dada pela sua projeção sobre o eixo horizontal.

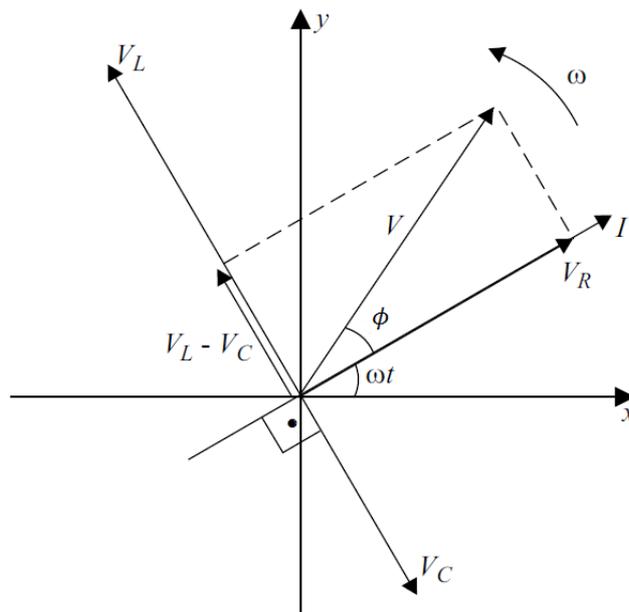


Figura 3 - Diagrama de fasores para R , L e C em série no caso de $V_L > V_C$.

Para elementos em paralelo, a soma vetorial das correntes que passa nesses elementos é igual à corrente total do circuito. Considerando o caso simples de um resistor e um capacitor em paralelo alimentados por um gerador AC tal que $v(t) = V \cos \omega t$, as correntes instantâneas i_R e i_C através do resistor e do capacitor são dadas respectivamente por:

$$i_R = I_R \cos \omega t \quad (11)$$

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

A corrente total $i = i_R + i_C$ é, portanto, $i = I_R \cos \omega t - I_C \sin \omega t$, ou

$$i = I \cos(\omega t + \phi) \quad (13)$$

onde:

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \quad (14)$$

e,

$$\phi = \arctan \frac{I_C}{I_R}. \quad (15)$$

Analisando Eq. (14) a corrente total é o vetor resultante de dois vetores de módulos respectivamente iguais a I_R e I_C e perpendiculares entre si, na Fig. 4 esses vetores são representados girando com velocidade angular ω , onde as projeções dos vetores de módulos I_R , I_C e I sobre o eixo horizontal fornece os valores instantâneos i_R , i_C e i . O ângulo ϕ entre I_R e I representa a defasagem entre a corrente i e a tensão v , que está em fase com i_R .

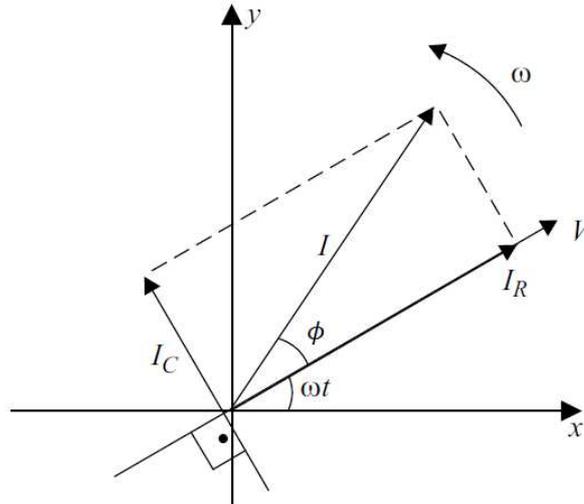


Figura 4 - Diagrama de fasores para R e C em paralelo.

Reescrevendo a Eq. (14) na forma $I^2 = I_R^2 + I_C^2$ e dividindo ambos os membros da equação por V^2 , resulta:

$$\left(\frac{1}{Z}\right)^2 = \left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C}\right)^2 \quad (16)$$

O fator $1/Z$ é o inverso da impedância, conhecido como admitância Y , cuja unidade no SI é o Siemens (Ω^{-1}).

2.2. REPRESENTAÇÃO DA IMPEDÂNCIA NO PLANO COMPLEXO

A técnica de espectroscopia dielétrica faz o uso da impedância complexa, sendo que o espectro de impedância é obtido construindo-se, num mesmo gráfico, tanto a parte real como a parte imaginária da impedância em função da frequência da tensão alternada.

A impedância pode ser representada por uma grandeza complexa, pois seu valor depende da relação da fase e da amplitude dos dois sinais. A representação vetorial de grandezas como aquelas que aparecem na Fig. 2 é análoga à representação geométrica de um número complexo no plano complexo onde a resistência R é representada no eixo real, e a reatância X é representada no eixo imaginário Fig. 5.

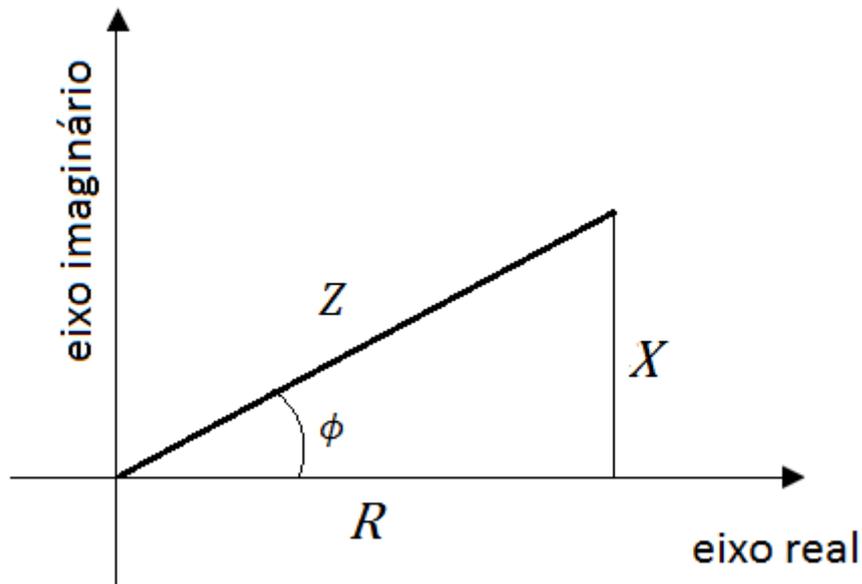


Figura 5 – Representação da impedância no plano complexo.

O número complexo que representa a impedância é dado por:

$$Z^* = R + jX \quad (17)$$

onde as projeções de R e X sobre os eixos são respectivamente a resistência e reatância elétrica, Z é o módulo da impedância complexa e $j = \sqrt{-1}$. Do mesmo modo que uma combinação de resistores em série e em paralelo pode ser representada por um único resistor equivalente, um circuito contendo uma combinação arbitrária de resistores, indutores e capacitores, pode ser representado por uma impedância total Z^* .

Observando a Fig. (5) acima, temos que $R = Z \cos \phi$, e $X = Z \sin \phi$, substituindo R e X na Eq. (17) obtemos:

$$Z^* = Z(\cos \phi + j \sin \phi) \quad (18)$$

onde o termo entre parêntesis pode ser substituída por $e^{j\phi}$ através da relação de Euler onde $e^{j\phi} = \cos \phi + j \sin \phi$, sendo assim a Eq. (18) fica simplificada da seguinte maneira:

$$Z^* = Ze^{j\phi} \quad (19)$$

Onde $Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \frac{V}{I}$ e ϕ é a diferença de fase entre a voltagem e a corrente.

Em um resistor ideal a corrente está em fase com a tensão e neste caso $Z = R$, onde R é o valor da resistência elétrica. Em um capacitor ideal, a corrente está defasada de $+90^\circ$ em relação à tensão (corrente adiantada). A impedância deste capacitor ideal é igual à sua reatância capacitiva e, portanto, na sua representação gráfica através da Fig. 5, a impedância é representada sobre o eixo imaginário (no quadrante inferior). A impedância é calculada por:

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C} \quad (20)$$

Onde C é o valor da capacitância elétrica do capacitor.

No caso de um indutor ideal, a corrente está defasada de -90° em relação à tensão (corrente atrasada) e sua impedância é igual à reatância indutiva. Na Fig. 5 a impedância é representada sobre o eixo imaginário (no quadrante superior), sendo calculada neste caso por:

$$Z_L = j\omega L \quad (21)$$

onde L é o valor da indutância elétrica do indutor.

Estendendo-se o tratamento desenvolvido acima, a impedância resultante Z^* de um circuito contendo várias impedâncias em série, é dada por:

$$Z^* = Z_1^* + Z_2^* + Z_3^* + \dots + Z_n^* \quad (22)$$

A fórmula correspondente para impedâncias em paralelo pode ser determinada, tendo em mente que a tensão em cada uma delas é a mesma e nesse caso a impedância equivalente Z^* é dada por:

$$\frac{1}{Z^*} = \frac{1}{Z_1^*} + \frac{1}{Z_2^*} + \frac{1}{Z_3^*} + \dots + \frac{1}{Z_n^*} \quad (23)$$

O fato de podermos representar as reatâncias indutiva e capacitiva por quantidades complexas é bem vantajoso, pois dependendo do caso pode simplificar enormemente os cálculos.

2.3. EPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA

2.3.1. DIMENSÃO TEÓRICA

A espectroscopia de impedância é uma técnica relativamente nova e tem sido bastante útil na caracterização das propriedades elétricas de materiais. Essa técnica permite investigar o comportamento dinâmico de cargas ligadas ou cargas móveis, no volume e na interface de materiais sólidos ou líquidos, com diferentes características iônicas, semicondutoras, condutoras ou isolantes. A técnica é bastante simples, e consiste em analisar o comportamento do material entre os eletrodos, aplicando-se um campo elétrico conhecido e observar como o material responde a esse estímulo. Tal resposta depende ainda de outros fatores controláveis, tais como freqüência, temperatura, pressão ou campo estático aplicado, sendo que o segundo parâmetro citado tem sido mais descrito na literatura [2].

A interação do campo elétrico com a matéria provoca uma variedade de processos microscópicos que podem determinar a resposta do material em nível macroscópico. Podemos citar como exemplo dessa interação: transporte de cargas no material, polarização das moléculas, orientação dos dipolos e ainda o transporte de cargas a partir de espécies atômicas, carregadas ou não que se formam no material ou a sua volta, através de processos químicos de oxi-redução. A taxa na qual ocorre o transporte de cargas depende da resistência ôhmica dos eletrodos, da natureza do material e da taxa de reação na interface [3].

Na técnica de espectroscopia de impedância, vários tipos de estímulo podem ser considerados, sendo que o mais comum é utilizar uma tensão alternada do tipo senoidal, para medir a parte real e a parte imaginária da

impedância complexa em função da frequência. Os gráficos da parte real e da parte imaginária da impedância em função da frequência compõem o espectro de impedância para uma amostra do material a ser estudado entre dois eletrodos [7]. Existem equipamentos comerciais disponíveis, que são capazes de realizar essas medidas faixa de frequência que vai desde 10 μ Hz até 32 MHz [4].

2.3.2. ESPECTROS DE IMPEDÂNCIA

O espectro de impedância é obtido construindo-se, num mesmo gráfico, tanto a parte real como a parte imaginária de Z^* em função da frequência. As medidas são realizadas em diferentes frequências de corrente alternada, e por isso a denominação de espectroscopia de impedância foi adotada.

A seguir são representadas as previsões teóricas [1] para os espectros de impedância de circuitos básicos constituídos basicamente por diferentes associações de resistores e capacitores em função da frequência da tensão alternada. Nos gráficos estão representados a impedância complexa Z^* , tanto a parte real $Re[Z^*]$ quanto a parte imaginária $Im[Z^*]$.

Quando um resistor de resistência R for ligado diretamente ao gerador AC, a impedância resultante complexa do circuito é calculada por:

$$Z^* = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega c}, \quad (24)$$

no qual $Z^* = R$, desse modo que a parte real $Re[Z^*] = R$ e a parte imaginária $Im[Z^*] = 0$. O espectro de impedância teórico é dado pelo gráfico representado pela Fig. 6.

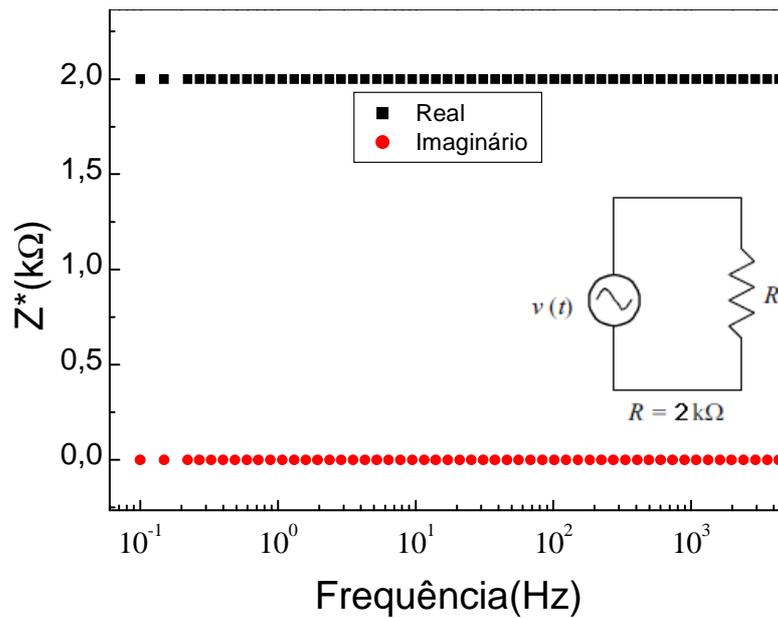


Figura 6 – Espectro de impedância para um resistor ideal.

Quando um capacitor ideal de capacitância C é ligado ao gerador AC, a impedância complexa do circuito será $Z^* = -(1/\omega C)j$, donde se conclui que $Re[Z^*] = 0$ e $Im[Z^*] = -1/\omega C$. Portanto, a Fig. 7 mostra o espectro de impedância para este caso.

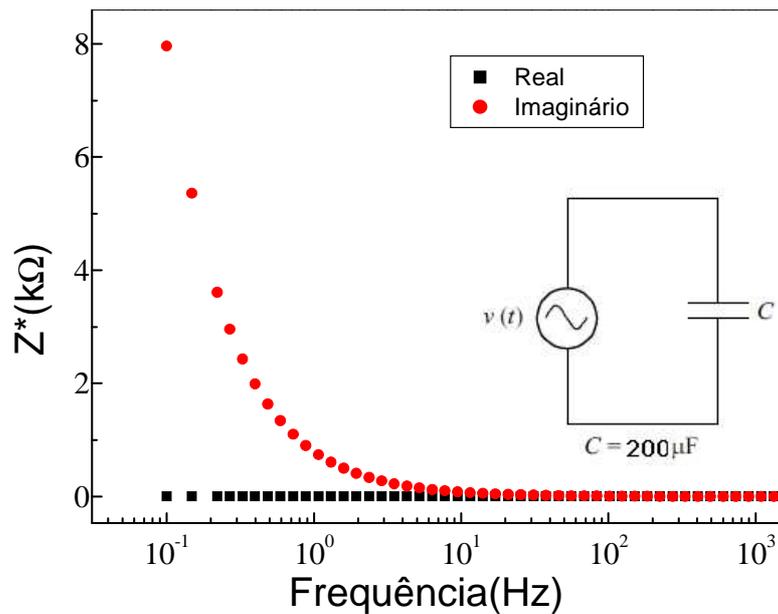


Figura 7 – Espectro de impedância pra um capacitor ideal.

Ao analisarmos um circuito com resistor e capacitor em série, a impedância complexa desse circuito ligado diretamente em um gerador AC, será a representada pela Eq. (25).

$$Z^* = R + \frac{1}{j\omega c} \quad (25)$$

As partes reais e imaginárias de Z^* são, portanto $Re [Z^*] = R$ e $Im[Z^*] = -1/\omega C$, e o espectro de impedância terá a forma mostrada na Fig. 8.

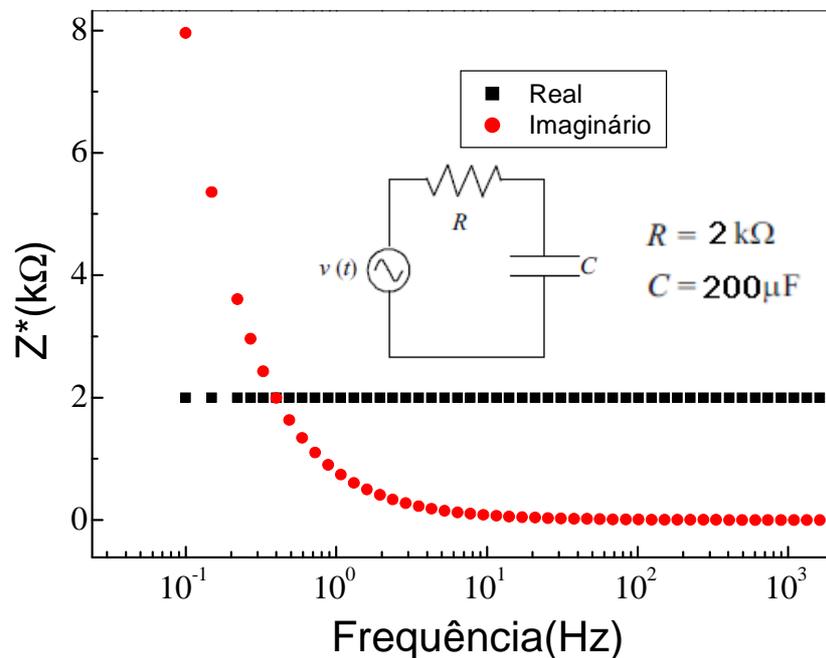


Figura 8 – Espectro de impedância para um capacitor e um resistor em série.

Agora ligando diretamente ao gerador AC um resistor em paralelo a um capacitor, a impedância complexa do circuito poderá ser determinada por meio da Eq. (24), fazendo $Z_1^* = R$ e $Z_2^* = 1/j\omega C$. Assim, $1/Z^* = R / (1 + j\omega RC)$. Multiplicando o numerador e denominador desta fração por $1 - j\omega RC$, obtemos:

$$Z^* = \frac{R(1-j\omega RC)}{1+(\omega RC)^2} = \frac{R}{1+(\omega RC)^2} - \frac{\omega(R)^2 C}{1+(\omega RC)^2} j, \quad (26)$$

cujas componentes real e imaginária estão representadas graficamente na Fig. 9.

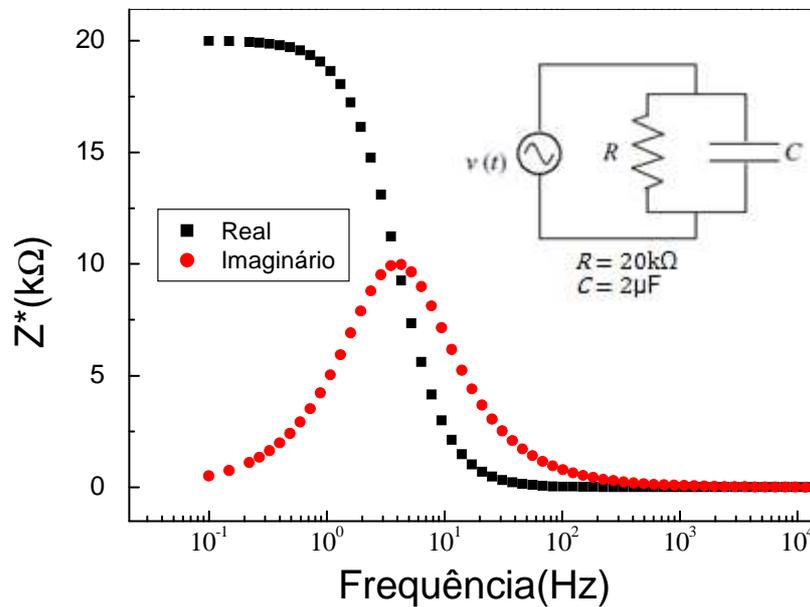


Figura 9 – Espectro de impedância para um capacitor e um resistor em paralelo.

Acoplando um segundo resistor R_2 em série com uma associação de outro resistor (R_1) e um capacitor em paralelo, no qual o conjunto está ligado a uma fonte AC, fazendo uso dos resultados obtidos no exemplo anterior, a impedância complexa no circuito fica dada por:

$$Z^* = R_2 + \frac{R_1}{1+(\omega R_1 C)^2} - \frac{\omega(R_1)^2}{1+(\omega R_1 C)^2}j \quad (27)$$

as componentes real e imaginária são apresentadas na Fig. 10.

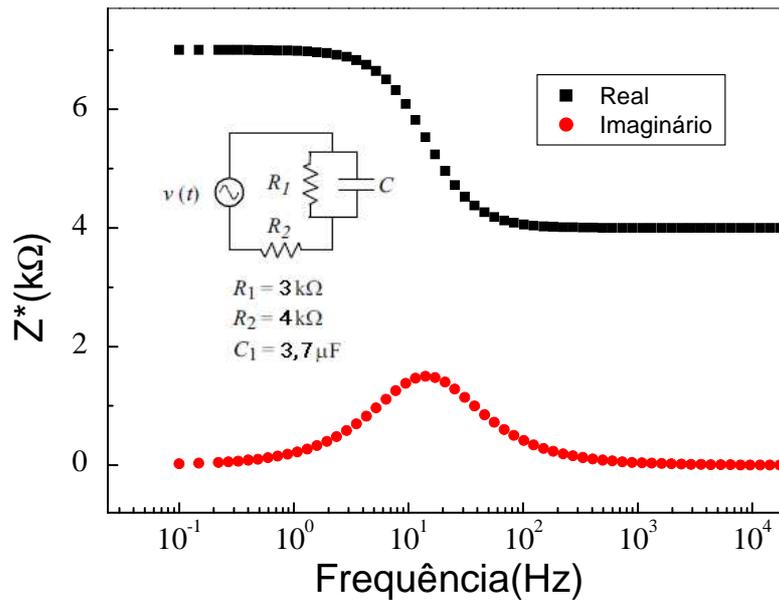


Figura 10 – Espectro de impedância para um resistor em série com uma associação de um resistor em série com um capacitor.

2.4. ESPECTROSCOPIA DIELÉTRICA EM CRISTAIS LÍQUIDOS.

A espectroscopia dielétrica é a técnica no qual se estuda a impedância elétrica em materiais dielétricos, ou seja, o material a ser estudado fará o papel de um dielétrico em um capacitor (porta-amstras), daí a denominação espectroscopia dielétrica fica plenamente justificada.

Na espectroscopia dielétrica em cristais líquidos, a impedância elétrica é utilizada para avaliar a resposta dielétrica de um cristal líquido entre as placas de um capacitor (porta-amstras) submetido a uma tensão alternada, e para avaliar essa resposta, utiliza-se um analisador de impedância, no qual consiste em um instrumento de medição que fornece a impedância de um elemento ou dispositivo através da medição simultânea de corrente e tensão aplicada nos seus terminais em uma ampla faixa de frequências. O exemplar mostrado na Fig. 11 é um analisador de impedância (Solartron 1260A) do laboratório de fluidos complexos do departamento de física da Universidade Estadual de Maringá.



Figura 11 – Analisador de impedância Solartron 1260A.

Todo material dielétrico inserido entre as placas de um capacitor pode ser definido como um resistor de altíssimo valor ôhmico.

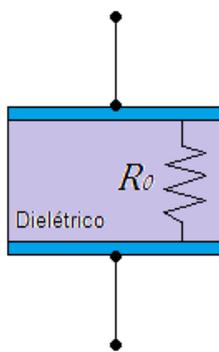


Figura 12 – Capacitor preenchido com dielétrico.

A existência dessa resistência é comprovada pelo fato de, o capacitor uma vez carregado, não conservar a sua carga indefinidamente, pois, graças a corrente de fuga, ela se escoa lentamente. Considerando o caso da Fig. 12, um capacitor preenchido com um cristal líquido pode ser então, representado por um circuito RC paralelo Fig. 13.

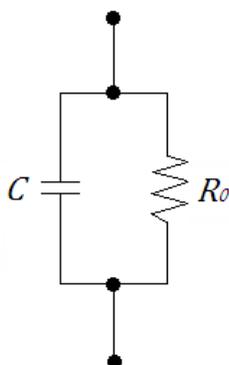


Figura 13 – Circuito RC paralelo.

O resistor simboliza a parte condutiva do cristal líquido e o capacitor as placas dos eletrodos na amostra.

3. METODOLOGIA

3.1. ABORDAGEM INTRODUTÓRIA

Em um laboratório de pesquisa, o espectro de impedância de um material ou dispositivo pode ser calculada diretamente por meio de um analisador de impedância, no entanto se pretendemos utilizar a técnica de espectroscopia dielétrica em cristais líquidos para o aprendizado, existe também uma alternativa mais viável que consiste em utilizar um gerador de tensão alternada AC, um osciloscópio de duplo canal para as medidas e um circuito RC paralelo para simular a amostra do cristal líquido, lembrando que ao se aplicar a técnica de espectroscopia dielétrica, supõe-se que a amostra do material a ser estudado possa ser substituída por um circuito contendo unicamente resistores e capacitores.

3.2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Para calcular o espectro de impedância, vamos utilizar uma resistor e um capacitor combinados em paralelo (Fig. 13) para simular uma amostra de cristal líquido, ligado em série com um segundo resistor de referência. A suposta amostra e o resistor em série (Fig. 14) são, então, ligados ao gerador AC, fornecendo tensão variável em amplitude e frequência, e um osciloscópio será usado para a determinação de parâmetros necessários para o cálculo da impedância complexa em função da frequência da tensão alternada.

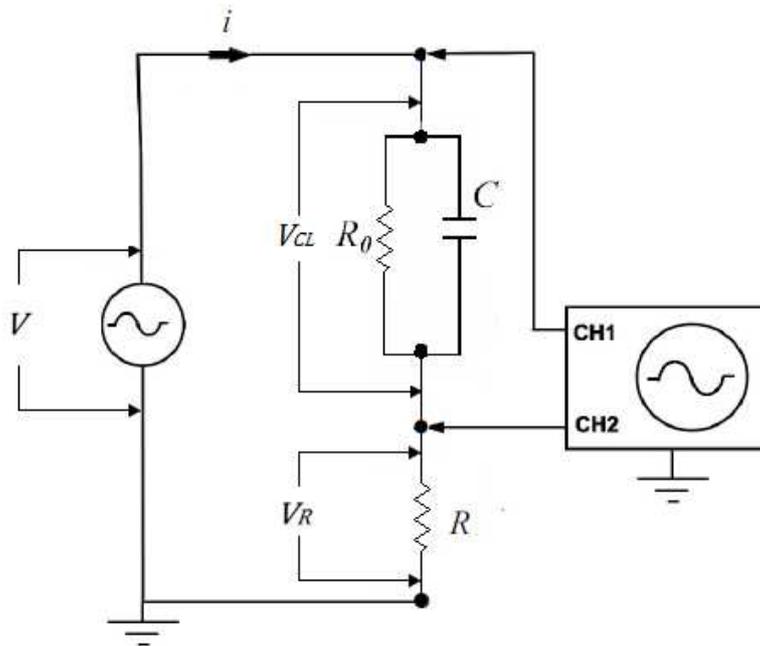


Figura 14. – Arranjo experimental para a determinação indireta da impedância para um circuito RC paralelo equivalente a um cristal líquido em comportamento elétrico para simular a espectroscopia dielétrica em cristais líquidos.

O objetivo do experimento consiste no cálculo da impedância do circuito RC paralelo. Para isso, examina-se a tensão $v_{CL}(t)$ entre os terminais desse circuito e a tensão $v_R(t)$ entre os terminais do resistor por meio do osciloscópio. Como a tensão v_R está em fase com a corrente que atravessa tanto a resistência R como a impedância Z_{CL} em série, a diferença de fase entre a tensão v_{CL} e a corrente que passa no circuito pode ser obtida, como veremos adiante, a partir das figuras de Lissajous observados na do osciloscópio. Para levantar o espectro de impedância da amostra, é necessário determinar a impedância complexa da associação do circuito que a representa, sendo nesse caso um circuito RC paralelo. Se Z_{CL}^* é a impedância complexa dessa associação, então, de acordo com a Eq. (19).

$$Z_{CL}^* = Z_{CL} e^{j\phi} = \frac{V_{CL}}{I} (\cos \phi + j \sin \phi) \quad (28)$$

Para determinarmos a impedância complexa devemos medir V_{CL} , I e ϕ , sendo assim, calculando esses parâmetros a impedância complexa ficará completamente determinada.

A amplitude V_{CL} da tensão entre os terminais da amostra é determinada medindo-se a amplitude da senoide correspondente observada na tela do osciloscópio. Para medirmos a corrente que passa no circuito, podemos utilizar uma relação entre a amplitude V_R entre os terminais do resistor e a amplitude I da corrente que o atravessa dada por $V_R = RI$. Como R é conhecido, V_R pode ser determinado medindo-se a amplitude $v_R(t)$ na tela do osciloscópio, a corrente I é determinada pela razão V_R/R . Com isso a Eq. (28) pode ser reescrita como:

$$Z_{CL}^* = R \frac{V_{CL}}{V_R} (\cos \phi + j \sin \phi) \quad (29)$$

As partes real e imaginária de Z_{CL}^* serão $Re[Z_{CL}^*] = R \frac{V_{CL}}{V_R} \cos \phi$, e $Im[Z_{CL}^*] = R \frac{V_{CL}}{V_R} \sin \phi$.

Para a medida do ângulo ϕ de defasagem entre a tensão $v_{CL}(t)$ no circuito RC paralelo e a corrente que passa no circuito, vamos utilizar o método do cálculo do desvio de fase pelas figuras de Lissajous [5]. Para que essa medida seja possível o osciloscópio deverá ter uma configuração mínima, que é a função XY, para representar um sinal em função do outro. Um dos sinais é aplicado na entrada horizontal e o outro na entrada vertical. Utilizando o modo XY no osciloscópio, calcula-se o ângulo ϕ de desvio de fase entre a tensão $v_{CL}(t)$ no circuito RC paralelo e a tensão $v_R(t)$ no resistor que está em fase com a corrente que passa no circuito, e para isso aplica-se estes sinais respectivamente nos canais (CH1) e (CH2) do osciloscópio. Neste caso são aplicados nas placas horizontais do osciloscópio, sinais de frequência igual da tensão aplicada à placa vertical, mas com diferença de fase entre eles, as figuras que se obtém na tela do osciloscópio, devido à interação do feixe eletrônico com os campos elétricos variáveis e perpendiculares entre si, são denominadas figuras de Lissajous.

As figuras de Lissajous são usadas para calcular a diferença de fase ou frequência. Para sinais de frequências diferentes são usadas para medir a relação de frequência entre dois sinais, e para sinais de mesma frequência são usadas para calcular a diferença de fase entre estes sinais. Nesse caso as figuras são usadas para calcular a diferença de fase entre sinais de mesma frequência. Considerando o caso em que os sinais na entrada do osciloscópio têm a mesma frequência, mas amplitudes e fases diferentes, nesse caso temos que:

$$v_1(t) = A_1 \text{sen}(\omega t)$$

$$v_2(t) = A_2 \text{sen}(\omega t + \phi)$$

(30)

A figura de Lissajous obtida na tela do osciloscópio terá o aspecto representado na Fig. 15.

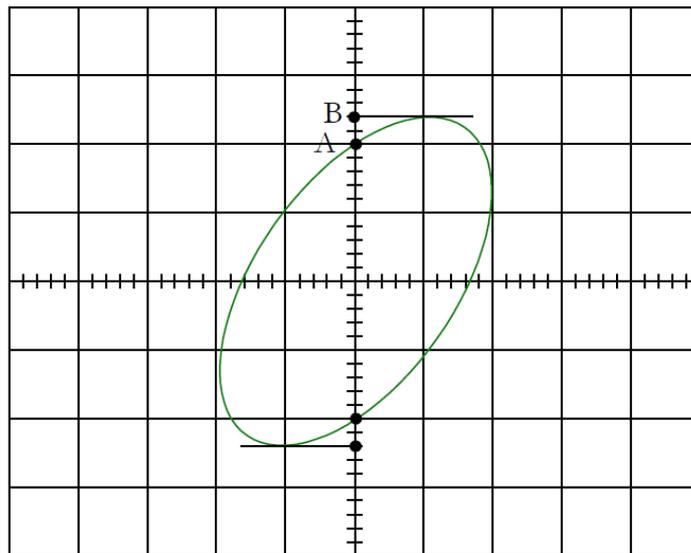


Figura 15 – Figura de Lissajous para dois sinais sinusoidais com a mesma frequência e amplitude e desvio de fase diferentes.

O ponto A obtém-se quando $v_1(t) = 0$, a que corresponde sempre ao $v_2(t) = A_2 \text{sen } \phi$, ou seja:

$$v_2(t) = A_2 \text{sen } \phi \quad (31)$$

O ponto B obtém-se quando $v(t)$, é máximo, e portanto:

$$B = A_2 \quad (32)$$

Juntando (28) e (29) obtém-se:

$$\phi = \arcsen \frac{A}{B} \quad (33)$$

Calculando as amplitudes A e B na tela do osciloscópio, obtém-se o valor do ângulo ϕ de desvio de fase entre dois sinais através da Eq. (33).

Na Fig. 16 abaixo são apresentadas as figuras possíveis de se obter no visor do osciloscópio, que são do tipo elipse quando tais tensões forem injetadas na horizontal e na vertical respectivamente. A forma da elipse dependerá do ângulo de defasagem ϕ .

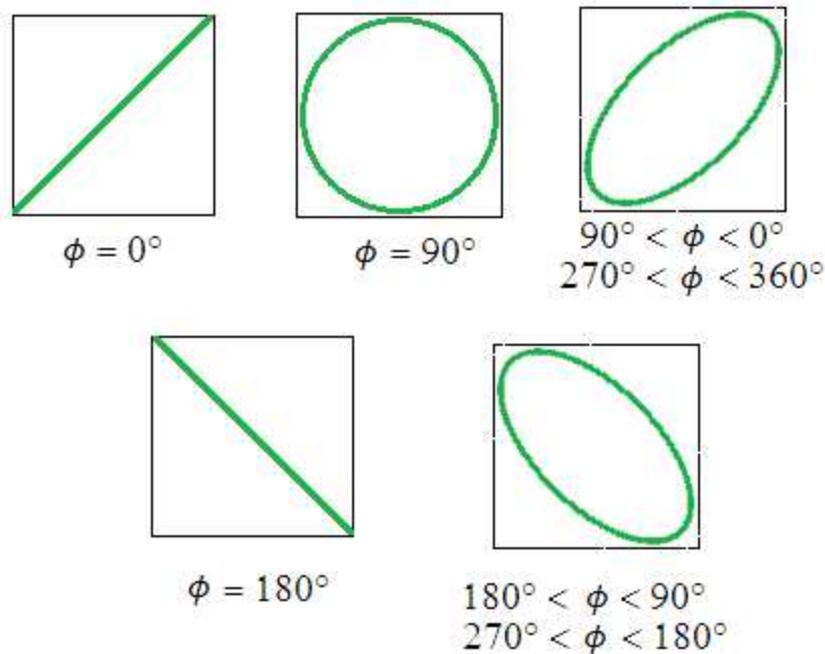
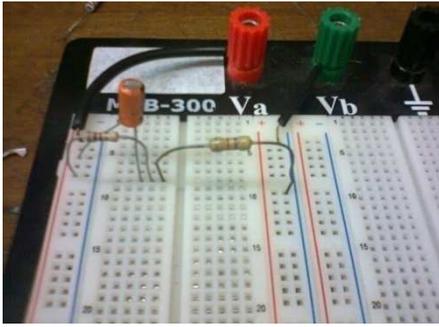


Figura 16 – Figuras de Lissajous para ondas de frequências iguais e fase diferente.

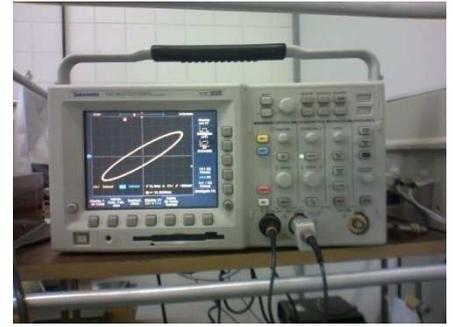
O circuito ilustrado na Fig. 14 foi montado utilizando um protoboard (placa para montagem de circuitos elétricos). A Fig. 17 ilustra a montagem do circuito bem como os equipamentos utilizados.



(a)



(b)



(c)

Figura 17 – (a) Protoboard contendo a montagem do circuito elétrico; (b) o circuito ligado ao gerador de tensão (AC); (c) o osciloscópio utilizado para a obtenção dos dados para o cálculo dos parâmetros necessários.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após as medidas de impedância complexa utilizando o arranjo experimental simples, foram confeccionados gráficos tanto da parte real quanto da parte imaginária da impedância complexa em função da frequência da tensão alternada. Se considerarmos que os resultados obtidos experimentalmente através do circuito elétrico foram comparados com a previsão teórica para a impedância complexa referente ao mesmo circuito RC, podemos observar (fig. 18) que as curvas são muito semelhantes tanto na parte real quanto na parte imaginária.

As Figs. 18(a) e 18(b) representam respectivamente a previsão teórica, e os dados obtidos experimentalmente para a impedância real referente ao circuito RC paralelo.

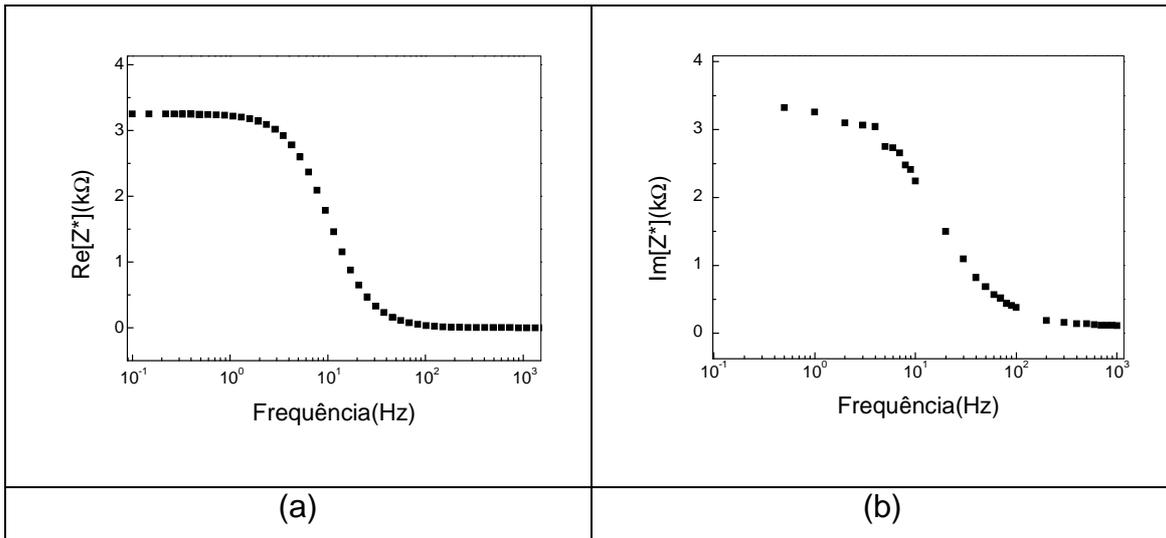


Figura 18 – (a) Resultado esperado; (b) resultado experimental para o espectro de impedância real para um circuito RC paralelo.

Já as Figs. 19(a) e 19(b) representam respectivamente a previsão teórica, e os dados obtidos experimentalmente para a impedância imaginária referente ao circuito RC paralelo.

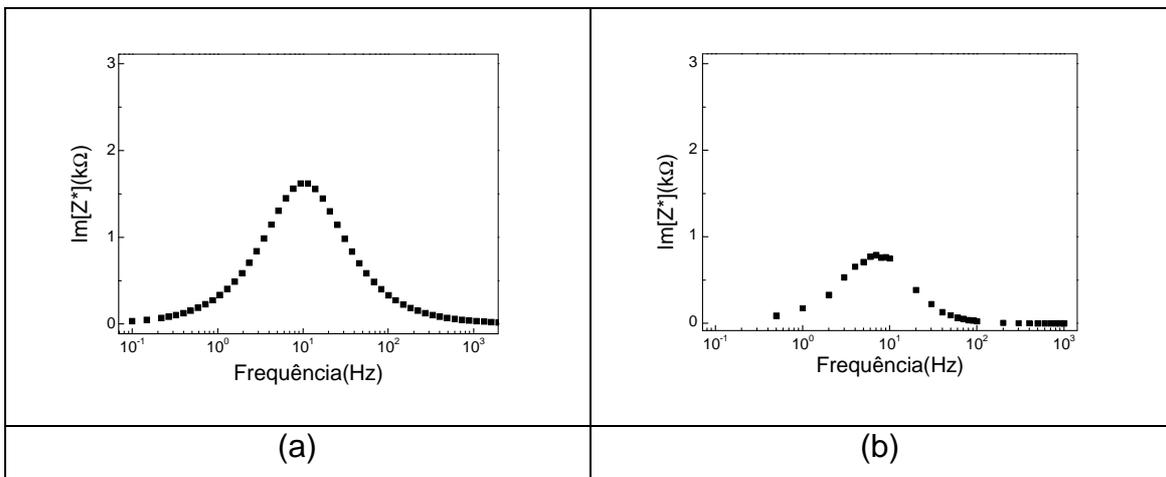


Figura 19 – (a) Resultado esperado; (b) resultado experimental para o espectro de impedância imaginária para um circuito RC paralelo.

Considerando os resultados anteriores, observa-se um bom acordo dos resultados obtidos experimentalmente com as previsões teóricas para o circuito RC paralelo, obtidas com o auxílio da Eq. (26) para $R = 3,25\text{k}\Omega$ e $C = 4,7\mu\text{F}$. A título de comparação, a Fig. 20 mostra o espectro de impedância obtido por meio de um analisador de impedância Solartron-1260 para um circuito RC paralelo, onde estão representados no mesmo gráfico tanto a parte real quanto

a parte imaginária da impedância complexa em função da frequência.

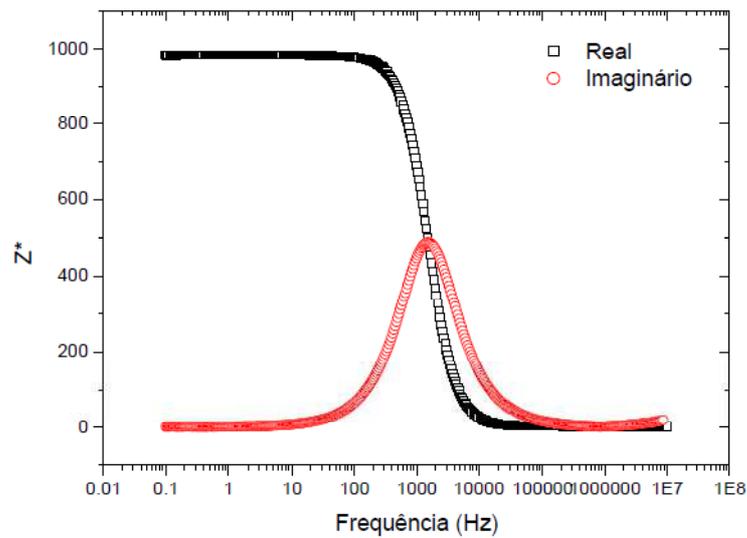


Figura 20 – Espectro de impedância obtido por meio de um analisador de impedância Solartron 1260 para um circuito RC paralelo.

Ainda a título de comparação a Fig. 21 mostra resultados para a medida de impedância real e imaginária de um cristal líquido obtidos através de uma ponte de impedância.

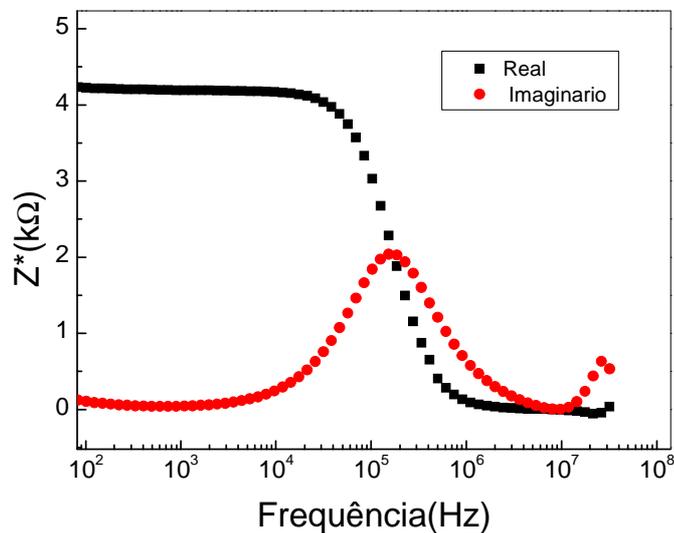


Figura 21 – Impedância real Imaginária em função da frequência obtidos através de um analisador de impedância para uma amostra de cristal líquido.

5. CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos a partir das medidas de impedância complexa utilizando um circuito elétrico simples em corrente alternada, podemos concluir que é válida a utilização deste arranjo experimental para a aprendizagem da técnica de espectroscopia dielétrica em cristais líquidos, pois através desses resultados observa-se um bom acordo com as previsões teóricas, bem como os resultados obtidos a partir de equipamentos mais sofisticados, para o espectro de impedância de um circuito RC paralelo, no qual representava uma amostra de cristal líquido em comportamento elétrico.

Podemos observar que os resultados obtidos nas Figs. 18, 19, 20 e 21 são muito semelhantes. Sendo assim podemos afirmar com convicção que o circuito proposto, apesar de simples, nos fornece resultados confiáveis. A exploração dessa técnica em um laboratório de física básica pode apresentar aspectos positivos basicamente por poder oferecer oportunidade de reforçar a utilização de equipamentos como um osciloscópio de duplo canal e gerador de tensão AC normalmente encontrados em laboratórios de física básica, além de poder oferecer uma oportunidade de preparação inicial para alunos de iniciação científica que necessite caracterizar o comportamento elétrico de um cristal líquido em seu trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- [1] 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 (2008).
- [2] T. K. Bose, B. Campbel, S. Yagihara, and J. Thoen, Phys. Rev. A, 36, 5767 (1994).
- [3] M. M A de Jesus, Tese de Mestrado, "CARACTERIZAÇÃO ELETRO – ÓPTICA DE CRISTAIS LÍQUIDOS DISPERSOS EM MATRIZ POLIMÉRICA", DFI, UEM, 2005.
- [4] Ver, por exemplo, manual de operação do analisador de impedância, modelo 1260A, fabricado pela Solartron Instruments.
- [5] TAVARES, Miguel. TRABALHO DE LABORATÓRIO N.º 3. Disponível em: <<http://www.estig.ipbeja.pt/~lmg/cee/laboratorios/laboratorio3.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2012.
- [6] D. Halliday, R. Resnick and J. Walker, Fundamentos de Física (LTC- Livros Técnicos e Científicos EditoraS.A., Rio de Janeiro, 1996), 4a ed., v. 3, cap. 36.
- [7] E. Barsoukov and J.R. Macdonald, Impedance Spectroscopy Theory, Experiment and Applications (Willey Interscience, Hoboken, New Jersey, 2005).