



ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE QUADRIPOLOS UTILIZANDO LABORATÓRIO REMOTO VISIR

Mauro T. Peraça – peraca@ifsc.edu.br

Luis C. M. Schlichting – schlicht@ifsc.edu.br

Daniel D. De Bona – dezan@ifsc.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Av. Mauro Ramos, 950

88020-300 – Florianópolis – Santa Catarina

Resumo: Este trabalho apresenta a metodologia para realização de ensaios para caracterização de quadripolos utilizando o laboratório remoto VISIR no IFSC. Inicialmente são apresentadas as principais características do laboratório remoto VISIR e sucintamente faz-se uma revisão da teoria de quadripolos, mais especificamente no tocante a obtenção dos parâmetros de impedância. Baseado em um circuito, apresentado ao usuário na forma uma black box, são realizados todos os ensaios necessários para a obtenção dos parâmetros de impedância de um quadripolo utilizando o laboratório remoto VISIR. Os resultados obtidos experimentalmente são comparados com os resultados teóricos. Considerando os resultados obtidos, conclui-se que utilização do laboratório remoto VISIR no apoio ao ensino de circuitos elétricos é uma ferramenta útil e viável para realização de atividades práticas em cursos de Engenharia.

Palavras-chave: VISIR, Laboratório Remoto, Circuitos Elétricos, Quadripolos, Circuitos de Duas Portas.

1 INTRODUÇÃO

Cursos de área técnica são geralmente conhecidos pela aprendizagem na esfera teórico/prática. A prática é reconhecida por colocar os conhecimentos teóricos a prova e melhorar a aprendizagem visto que coloca o estudante em contato com o fenômeno ocorrendo em tempo real.

Atualmente cursos como estes, especialmente na área eletroeletrônica, encontram dificuldades em aspectos de ordem financeira. Laboratórios físicos costumam ser montados em bancadas, que na maior parte das vezes, atende apenas um aluno por vez. Esta característica pode gerar custos de montagem e de manutenção para instituições de ensino que estejam em busca de um padrão de excelência no seu processo de ensino/aprendizagem (MA, et al, 2006), (NEDIC, et al., 2003).

Além disso, as aulas ministradas em laboratórios físicos costumam ocorrer em horários definidos de acordo com a demanda e nem sempre há espaço para todos. Também, uma aula perdida geralmente não consegue ser recuperada em função da carga horária das disciplinas (GUSTAVSSON, et al., 2009), (NEDIC, et al., 2003).

No entanto, a prática é fundamental no desenvolvimento de um aluno na área de engenharia e para satisfazer essa necessidade algumas alternativas têm surgido, principalmente a partir do desenvolvimento de plataformas web de ensino a distância. Nesse

sentido, iniciativas em diferentes países tem tornado possível a experimentação online a partir de laboratórios remotos. Estes consistem basicamente de uma plataforma web que possibilita ao estudante implementar circuitos eletroeletrônicos reais remotamente em um laboratório montado em um local distante. A visualização de equipamentos e resultados reais tornam o aprendizado mais sólido e seguro. Isto porque o aluno percebe o fenômeno ocorrendo em tempo real sem estar sujeito a acidentes que podem trazer prejuízos a sua integridade física ou mesmo a qualquer problema que possa danificar equipamentos de alto custo (GILLET, et al., 2005).

Diante das possibilidades advindas do uso de laboratórios remotos e das necessidades de otimização e valorização de atividades práticas nas unidades curriculares de circuitos elétricos, apresenta-se nesse trabalho a realização de ensaios para caracterização de quadripolos utilizando o laboratório remoto VISIR.

2 LABORATÓRIO REMOTO

Basicamente os laboratórios remotos consistem de uma unidade física composta por um servidor que se comunica com o cliente através de uma interface web e com a placa de experimentos, onde são instalados todos os componentes e instrumentos de medição. Sendo assim, o laboratório pode estar montado em um local específico e usuários do mundo todo podem acessá-lo e realizar experimentos reais através da internet (MA, et al, 2006).

Dessa forma os custos operacionais são cortados em grande parte, visto que um pequeno espaço e um número reduzido de equipamentos são suficientes para reproduzir um grande número de experimentos e satisfazer a aprendizagem de muito mais estudantes. Além disso, pesquisas tem demonstrado que estudantes questionados mostraram preferência em trabalhar com laboratórios remotos por sua efetividade em relação a simuladores. Laboratórios remotos, além de não apresentarem os riscos, fornecem a mesma experiência de um laboratório físico, pois os circuitos são montados com componentes reais em matrizes de contato e os resultados são mostrados através de interfaces de equipamentos de medidas reais, como osciloscópio, gerador de sinais, multímetro, entre outros. Toda essa experiência faz parte do imaginário do estudante a respeito de um laboratório e promove um incentivo emocional importante no processo de aprendizagem (GUSTAVSSON, et al., 2009), (NEDIC, et al., 2003).

Outra característica interessante é o fato de que os experimentos podem ser realizados fora do horário normal de aulas ou do expediente de técnicos de laboratório, que normalmente precisam acompanhar experimentos em laboratórios físicos. Isto promove maior flexibilidade para professores que podem utilizar o horário de aula para maiores explicações e orientações teóricas ao invés de despendar parte do tempo com organização de laboratórios, e também para alunos, que podem realizar as práticas em horários mais confortáveis e com maior concentração. (GUSTAVSSON, et al., 2009), (NEDIC, et al., 2003), (MA, et al, 2006).

As primeiras ideias de laboratórios com experimentação remota foram surgindo de forma simples, como a programação de microcontroladores e visualização dos resultados através de câmeras. A evolução acabou levando a projetos mais complexos, como o VISIR.

O Virtual Instrument Systems in Reality (VISIR) que foi iniciado no Instituto de Tecnologia Blekinge (BTH) – Suécia com o objetivo de disseminar o conceito de “bancada online” para experimentação (GUSTAVSSON, et al., 2009). O laboratório VISIR, consiste de um sistema dividido em hardware e software.

O hardware é composto por uma plataforma de instrumentação PXI, da National Instruments, com módulos instrumentais como Fonte de alimentação, multímetro digital, Gerador de função e osciloscópio, que são encaixados no chassi e um módulo controlador. O módulo controlador resume-se a um computador servidor equipado com CPU, disco rígido,

memória RAM, conexões para teclado e mouse, bem como conexões serial e USB, etc. Através de cabos coaxiais o PXI é ligado a matriz de relés onde se encontram também placas de circuito impresso correspondentes a cada módulo do PXI, uma placa para cada módulo de instrumento.

A matriz de relés do VISIR tem capacidade para até dezesseis placas de componentes, sendo que cada placa comporta até dez componentes de dois terminais e dois circuitos integrados de 20 pinos cada um (TAWFIK, et al. 2013).

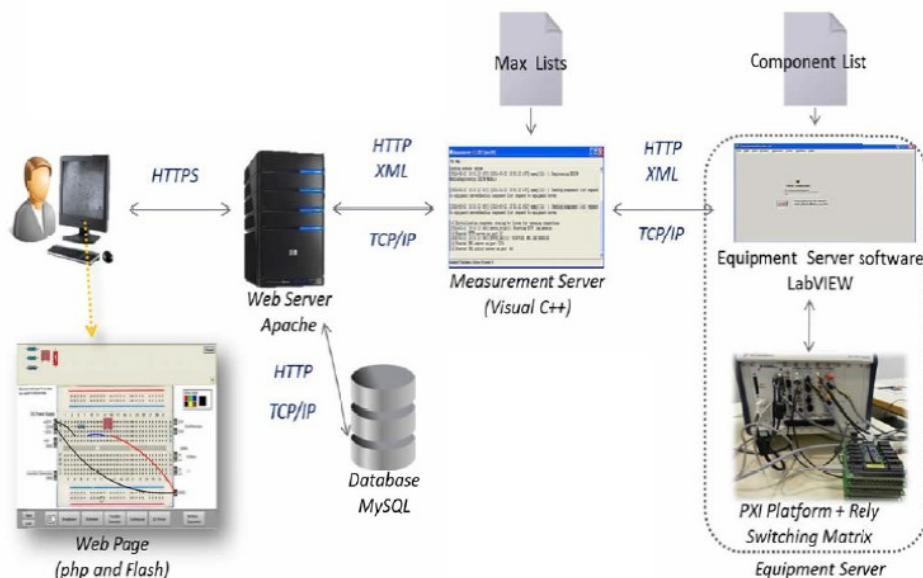
O sistema de software do VISIR é composto por algumas partes importantes, sendo elas: interface do usuário, cliente experimento, servidor de medidas e servidor de equipamento. Na Figura 1 é possível ter uma visão geral do sistema como um todo.

A interface do usuário é o que conecta professores e estudantes ao VISIR, através dela é possível, além de executar experimentos e verificar seus resultados reais, criar contas de usuários, agendar horários para experimentos, criar roteiros de experimentos, verificar como os estudantes estão montando e realizando seus experimentos, entre outras coisas.

O cliente experimento é uma bancada experimental online que conta com uma matriz de contatos e instrumentos de medida. A imagem dos instrumentos pode ser configurada pelo estudante de modo que apareça uma imagem real, como um multímetro real, por exemplo, ou uma imagem de um instrumento virtual. Os instrumentos de medida que aparecem na bancada são multímetro digital, osciloscópio, fontes de alimentação DC e gerador de funções (TAWFIK, et al. 2013).

O servidor de medidas é um aplicativo que funciona como um instrutor virtual que recebe os circuitos montados pelos estudantes após o botão Perform Experiment ser clicado e verifica se os mesmos estão de acordo com o que foi roteirizado pelo professor. Essa é uma medida de segurança que garante que o experimento seja realizado de forma segura para o equipamento instalado no VISIR. A esta etapa é dado o nome de Verificação, nesta etapa, o servidor de medidas compara o circuito enviado com todos os circuitos adicionados na "Max List". A "Max List" é uma pasta de experimentos alocada no servidor de medidas que contém os detalhes de todos os experimentos, como por exemplo, todas as conexões permitidas em experimentos. Caso o experimento enviado pelo usuário não esteja de acordo com a "Max List" uma mensagem é enviada ao mesmo e este deve reparar seu circuito.

Figura 1 – Sistema de software do VISIR.



Fonte: VISIR Installation Guide (TAWFIK, 2001).

Outra característica do servidor de medidas é que ele organiza os experimentos em fila (visto que mais de um experimento pode ser enviado ao mesmo tempo) e logo após os envia, um a um, para o servidor de equipamento a fim de realizar o experimento nos instrumentos de medida (TAWFIK, et al. 2013).

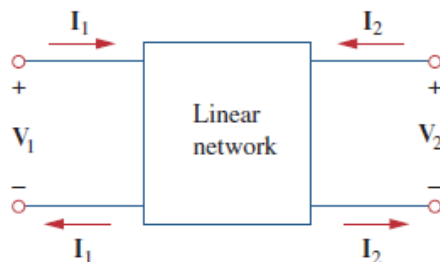
O servidor de equipamento é um aplicativo que controla os instrumentos de medida e roda no módulo controlador ou no PC servidor do NI PXI e é desenvolvido usando a plataforma LabVIEW. Então, após receber o experimento verificado pelo servidor de medida o servidor de experimento encaminha para os instrumentos de medida especificados pelo estudante durante a montagem do circuito que realiza as medidas e as encaminha de volta para a interface do usuário na tela do computador, exatamente como num equipamento de medida real (TAWFIK, et al. 2013).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DE QUADRIPOLOS

Circuitos de duas portas, ou quadripolos, são úteis em várias áreas da eletroeletrônica, tais como: comunicação, sistemas de controle, sistemas de potência e eletrônica. Conhecer os parâmetros de um circuito de duas portas permite que o tratemos como uma caixa preta, quando inserido em um circuito maior, facilitando o entendimento e a análise de circuitos mais complexos (ALEXANDER e SADIKU 2013), (FERREYRA-RAMÍREZ, et al. 2014)

Quadripolo é um circuito elétrico com duas portas distintas para entrada e saída, portanto esses circuitos possuem dois pares de terminais atuando como pontos de acesso. A Figura 2 mostra um quadripolo com as respectivas tensões e correntes de cada porta.

Figura 2 – Quadripolo ou circuitos de duas portas.



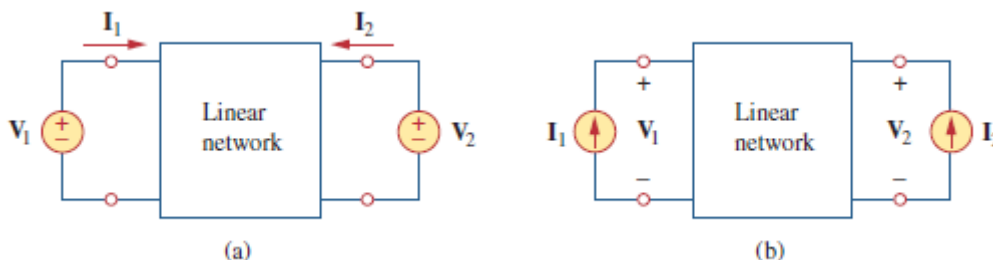
Fonte: Fundamentos de Circuitos Elétricos (ALEXANDER e SADIKU 2013).

Os quadripolos podem ser modelados por diversos conjuntos de parâmetros, tais como: parâmetros de impedância; parâmetros de admitância; parâmetros híbridos e parâmetros de transmissão. Na literatura encontra-se muito material sobre a obtenção desses parâmetros bem como sobre a transformação de um conjunto de parâmetros em outro. Nesse trabalho abordaremos a obtenção dos parâmetros de impedância, seguindo o proposto por Alexander e Sadiku (2013).

“Caracterizar um circuito de duas portas requer que estabeleçamos uma relação entre as quantidades V_1 , V_2 , I_1 e I_2 nos terminais da Figura 3, dos quais dois são independentes. Os vários termos que estabelecem relações entre essas tensões e correntes são chamados de parâmetros.

Um circuito de duas portas pode ser excitado por tensão como na Figura 3a ou por corrente como na Figura 3b. Tanto na a quanto na b, as tensões nos terminais podem ser relacionadas com as correntes nos terminais como mostra a equação (1)” (ALEXANDER e SADIKU 2013).

Figura 3 – Circuitos de duas portas: a - excitado por fontes de tensão e b - excitado por fontes de corrente.

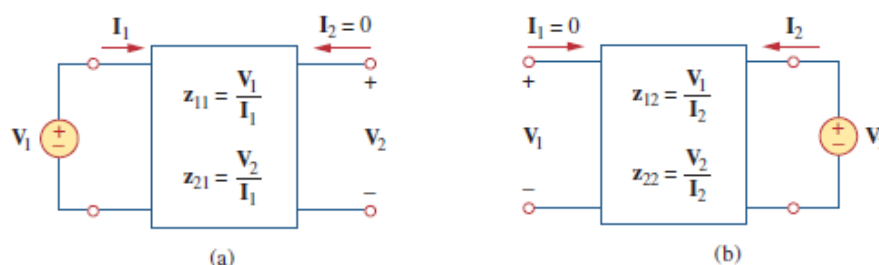


Fonte: Fundamentos de Circuitos Elétricos (ALEXANDER e SADIKU 2013).

$$\begin{aligned} V_1 &= Z_{11} \times I_1 + Z_{12} \times I_2 \\ V_2 &= Z_{21} \times I_1 + Z_{22} \times I_2 \end{aligned} \quad (1)$$

Na equação (1), os termos Z são denominados parâmetros de impedância e tem unidades de Ohms. Os parâmetros Z podem ser obtidos fazendo $I_1=0$ ou $I_2=0$, ou seja, fazendo porta 1 ou porta 2 em circuito aberto, respectivamente. Assim, realizando ensaios de circuito aberto, pode-se facilmente obter os parâmetros de impedância de um quadripolo como mostram a Figura 4 e as equações (2).

Figura 4 – Circuitos de duas portas: a - excitado por fontes de tensão e b - excitado por fontes de corrente.



Fonte: Fundamentos de Circuitos Elétricos (ALEXANDER e SADIKU 2013).

$$Z_{11} = \frac{V_1}{I_1} \quad Z_{21} = \frac{V_2}{I_1} \quad Z_{12} = \frac{V_1}{I_2} \quad Z_{22} = \frac{V_2}{I_2} \quad (2)$$

4 CARACTERIZAÇÃO DE QUADRIPOLOS NO VISIR

Para analisar circuitos de duas portas através de seus parâmetros, optou-se por implementar no VISIR duas “caixas pretas” contendo os quadripolos que serão utilizados nos experimentos. Desse modo, os estudantes não dispõem antecipadamente dos circuitos utilizados, tendo como única opção para análise o levantamento experimental dos parâmetros dos quadripolos.

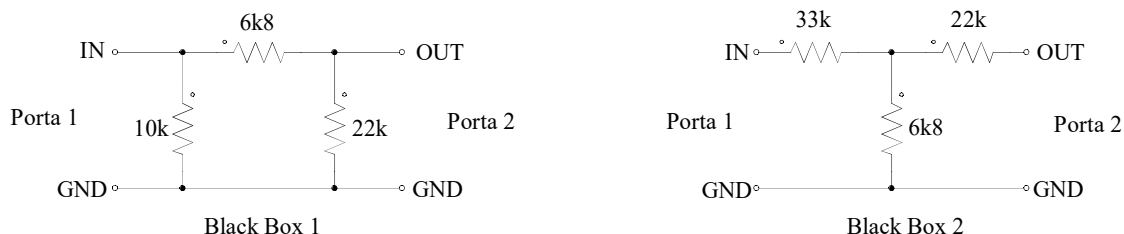
Visando a otimização do uso do laboratório remoto, para a implementação dos circuitos de duas portas foram utilizados apenas componentes que já estavam disponíveis no VISIR para outros experimentos.

No caso em voga dois circuitos de duas portas foram implementados, os quais são apresentados na Figura 5. O circuito da “black box 1”, trata-se de uma conexão em Δ . Já o circuito da “black box 2”, trata-se de uma conexão em Y . Os valores dos componentes utilizados, bem como os pontos considerados como entrada e saída (portas 1 e 2) são os indicados na própria Figura 5. Nesse trabalho, por questão de espaço, serão apresentados

apenas os resultados experimentais referentes a Black Box 1, porém os estudantes puderam utilizar as duas estruturas através dos ensaios no laboratório remoto VISIR.

Para os estudantes, os quadripolos aparecem como um único componente, sendo visíveis apenas os terminais do quadripolo, como pode ser observado na Figura 7.

Figura 5 – Circuitos internos dos quadripolos implementados no VISIR.



Como visto anteriormente, para obtenção dos parâmetros de impedância deve-se realizar dois ensaios de circuito aberto. No primeiro, mantém-se a porta 2 em circuito aberto ($I_2=0$) e aplica-se uma tensão na porta 1, nesse caso foi aplicado 5V, como mostra o ajuste da fonte na Figura 6, e mede-se V_1 , V_2 e I_1 , assim obtêm-se os parâmetros Z_{11} e Z_{21} , através da equação (2).

Figura 6 – Fonte utilizada para ensaios na Black Box 1.



O circuito implementado no VISIR para o primeiro ensaio, assim como as respectivas medições podem ser vistos nas Figuras 7, 8 e 9. Foi necessário realizar três conexões diferentes para realizar as três medições necessárias pois na versão utilizada do VISIR só há um multímetro disponível, assim as medições de V_1 , V_2 e I_1 não são simultâneas.

Figura 7 – Circuito implementado e medição da tensão V_1 na Black Box 1.

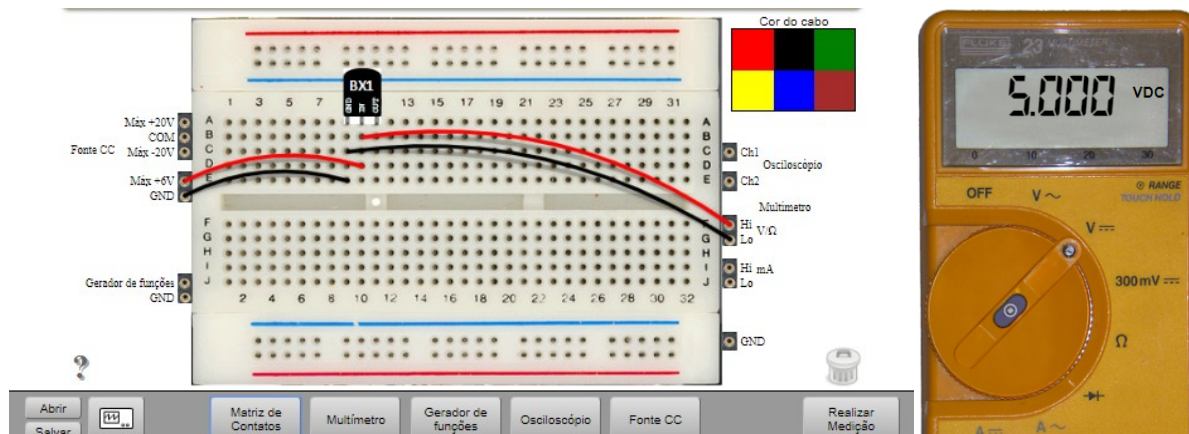


Figura 8 – Circuito implementado e medição da tensão V2 na Black Box 1.

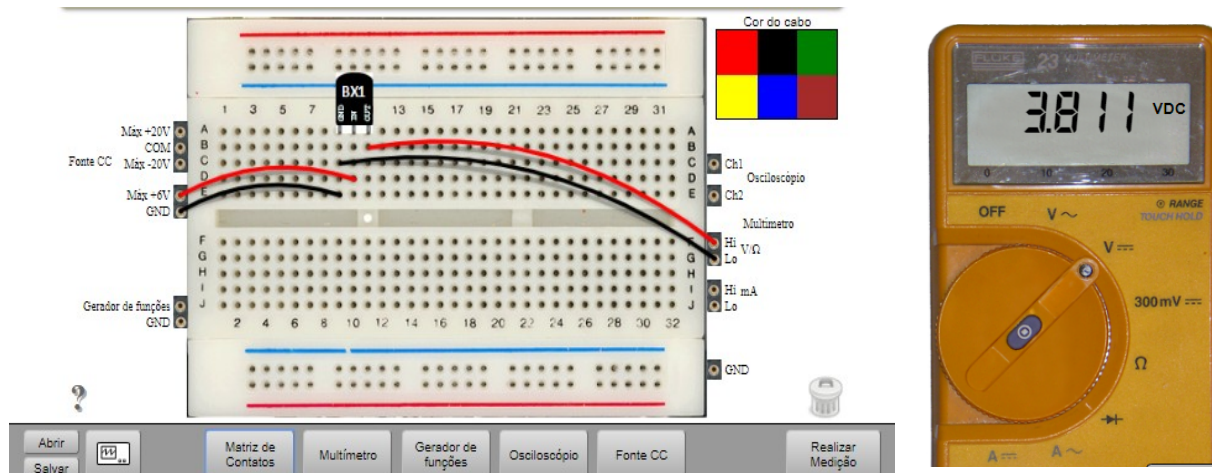
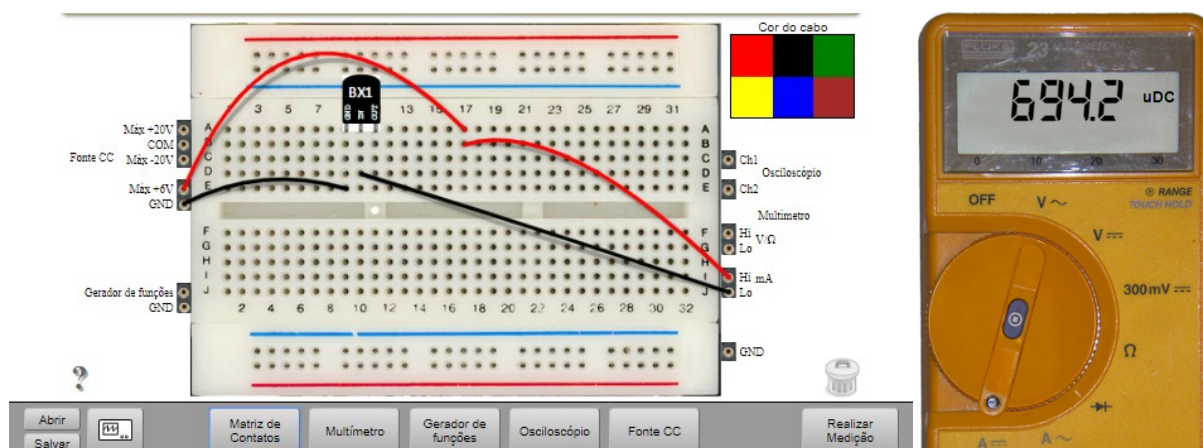


Figura 9 – Circuito implementado e medição da tensão I1 na Black Box 1.



Já no segundo ensaio, mantêm-se a porta 1 em circuito aberto ($I_1=0$) e aplica-se uma tensão de 5V na porta 2, medindo V1 e I2, desse modo obtêm-se os parâmetros Z12 e Z22, através da equação (2). Os circuitos implementados no VISIR para o segundo ensaio, assim como as respectivas medições podem ser vistos nas Figuras 10 e 11.

Figura 10 – Circuito implementado e medição da tensão V1 na Black Box 1.

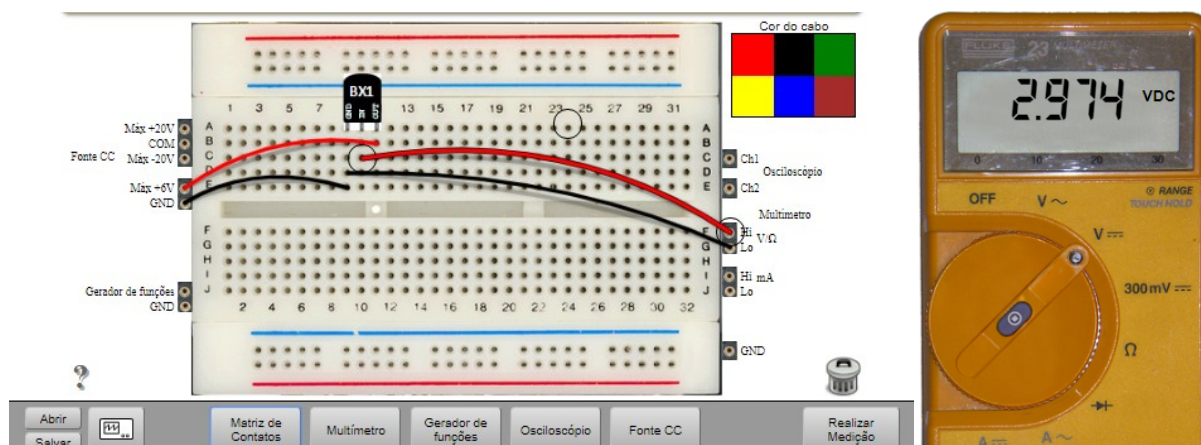
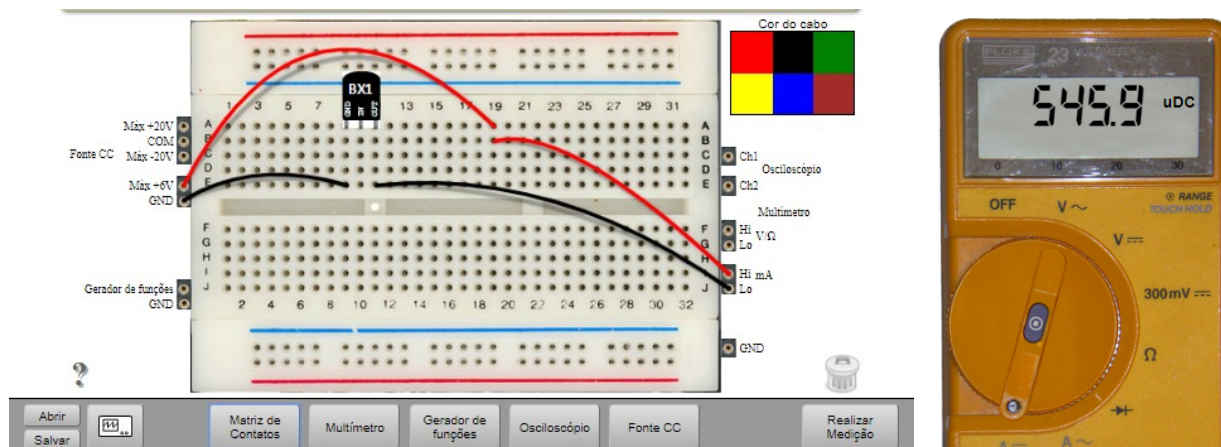


Figura 11 – Circuito implementado e medição da corrente I2 na Black Box 1.



A partir das medições de tensão e corrente, através da expressão (2), pode-se então determinar os parâmetros do quadripolo (Black Box 1) obtidos experimentalmente. Considerando os ensaios com a porta 2 em circuito aberto tem-se:

$$Z_{11} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{5,0}{694,2 \mu} = 7203 \Omega \quad Z_{21} = \frac{V_2}{I_1} = \frac{3,811}{694,2 \mu} = 5490 \Omega$$

Considerando os ensaios com a porta 1 em circuito aberto tem-se:

$$Z_{12} = \frac{V_1}{I_2} = \frac{2,974}{545,9 \mu} = 5448 \Omega \quad Z_{22} = \frac{V_2}{I_2} = \frac{5,0}{545,9 \mu} = 9159 \Omega$$

Assim, pode-se caracterizar o quadripolo analisado como segue:

$$V_1 = 7203 \times I_1 + 5448 \times I_2$$

$$V_2 = 5490 \times I_1 + 9159 \times I_2$$

A Tabela 1 mostra os resultados teóricos e experimentais obtidos para Black Box 1, assim como o erro relativo. Cabe destacar que os resistores utilizados apresentam tolerância de 5%.

Tabela 1 – Parâmetros de impedância da Black Box 1

Parâmetros de Impedância	Teórico (Ω)	Experimental (Ω)	Erro %
Z11	7423	7203	-3,0%
Z12	5670	5448	-3,9%
Z21	5670	5490	-3,2%
Z22	9526	9159	-3,9%

Após a caracterização do quadripolo, propõe-se ainda que seja realizado um ensaio com o quadripolo alimentado com uma fonte de 5V na porta 1 e conectando uma carga de 1k Ω na porta 2. Assim, a partir da equação característica do quadripolo, obtida experimentalmente, pode-se então determinar as correntes e tensões em cada porta, como segue:

$$5 = 7203 \times I_1 + 5448 \times I_2$$

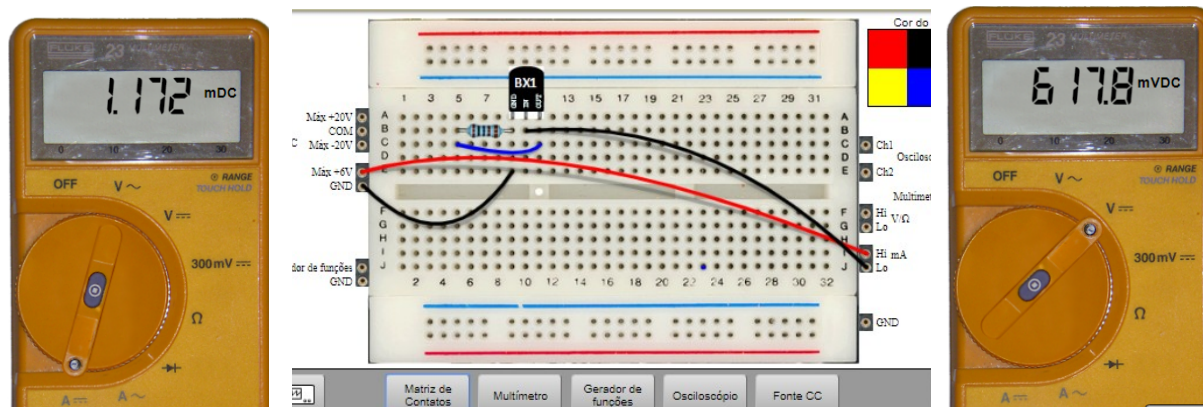
$$-1000 \times I_2 = 5490 \times I_1 + 9159 \times I_2$$

Logo, tem-se V2, I1 e I2:

$$I_1 = 1,174 \text{mA} \quad I_2 = -634 \text{mA} \quad V_2 = 634 \text{mV}$$

Foram realizadas medições da corrente da fonte (I1) e da tensão na carga (V2) para essa situação, cujos resultados são apresentados na Figura 12, corroborando assim os parâmetros de impedância obtidos experimentalmente.

Figura 12 – Medição de I_1 , circuito implementado com carga e medição de V_2 .



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do laboratório remoto VISIR para realização de ensaios de caracterização de quadripolos se mostrou uma ferramenta útil e viável para utilização em unidades curriculares de circuitos elétricos em cursos de engenharia. Os resultados obtidos estão de acordo com o esperado para uma experimentação real, ou seja, apresentam valores ligeiramente diferentes dos teóricos em função de variações nos valores reais dos componentes em comparação aos nominais, bem como devido a possíveis erros de medida.

Assim, neste trabalho é mostrado como utilizar circuitos de duas portas através do laboratório remoto VISIR, bem como a metodologia de ensaio para a obtenção dos parâmetros de impedância do quadripolo. No tocante ao estudo de quadripolos, a obtenção dos parâmetros experimentalmente estimula o discente a perceber que os modelos e métodos propostos nos estudos teóricos são efetivamente aplicáveis.

Por permitir a docentes e discentes grande flexibilidade no tocante a horários de utilização, viabilizar acesso a ensaios de laboratório a maior número de estudantes, utilizar reduzido número de componentes e instrumentos de medida, reduzindo assim os custos de implantação e utilização, o laboratório remoto VISIR apresenta-se como uma importante e promissora ferramenta para apoio ao ensino de circuitos elétricos em cursos de Engenharia.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew N. O. Fundamentos de Circuitos Elétricos 5 ed. Porto Alegre AMGH, 2013. 874 p.

BRANCO, Matheus V.; et al. Aspectos de Diferenciação entre Laboratórios Remotos e Simuladores. In: XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2014, Joinville. **Anais**. Joinville, 2017.

FERREYRA-RAMÍREZ, Ernesto F.; MATHIAS, Luis C.; SCHMIDT Luiz F. Desenvolvimento de Kits Didáticos com Material Reciclado para a Disciplina de Circuitos Elétricos. In: XLII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2014, Juiz de Fora. **Anais**. Juiz de Fora, 2014.

GILLET, D.; NGOC, A. V. N.; REKIK, Y. Collaborative Web-Based Experimentation in Flexible Engineering Education. IEEE Transactions on Learning Technologies, v.48, nº 4, p.696-704, nov. 2005.

GUSTAVSSON, I. et al. On Objectives of Instrucional Laboratories, Individual Assessment, and Use of Collaborative Remote Laboratories. IEEE Transactions on Learning Technologies, v.2, nº4, p.263-273, oct.-dez. 2009.

GUSTAVSSON, I. Student's Guide to the VISIR Remote Laboratory for Electrical Experiments. 2009. Disponível em: <http://openlabs.bth.se/static/Student_manual5.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2015.

MA, Jing; NICKERSON, Jeffrey. V. Hands-On, Simulated, and Remote Laboratories: A Comparative Literature Review. ACM Computing Surveys, v.38, nº 3, p.1-17, set. 2006.

NEDIC, Zorica; MACHOTKA, Jan; NAFALSKT, Andrew. Remote Laboratories versus Virtual and Real Laboratories. Em: ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, 33., 2003, Boulder. Artigo. Boulder: IEEE, 2003. p. 1 - 6.

ROQUE, Gabriela R. et al. Utilização do Laboratório Remoto VISIR como Recurso Educacional num Curso de Engenharia Mecatrônica. In: XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2014, Joinville. **Anais**. Joinville, 2017.

TAWFIK, M. et al. Virtual Instruments Systems in Reality (VISIR) for Remote Wiring and Measurement of Electronic Circuits on Breadboard. IEEE Transactions on Learning Technologies, v.6, nº 1, p.60-72, 2013.

TAWFIK, M. VISIR Installation & Start-Up Guide. Electric, Electronic and Control Department Spanish University for Distance Education – UNED, mar. 2001, 43p.

CHARACTERIZATION OF TWO-PORT CIRCUITS USING REMOTE LABORATORY VISIR

Abstract: *This paper presents the methodology used to perform experiments by using the remote laboratory VISIR (Virtual Instrument System in Reality) at IFSC. The experiments performed were based on two-port circuits where students should test it to obtain the circuits parameters. Initially, it is presented the major characteristics of the VISIR remote lab and a brief review of two-port circuits, mainly on the context of impedance parameters acquisition. Based on a "blackbox" circuit the students performed their experiments to obtain the impedance parameters using VISIR lab. The practical results were compared with the theoretical results. Considering the obtained results we concluded that the remote laboratory VISIR is an useful and feasible tool to support teaching of electric circuits and practical activities on engineering courses.*

Key-words: *VISIR, remote laboratory, two-port circuits, electric circuits*