

# Adaptação de Laboratórios Remotos a Cenários de Ensino: Casos de Estudo com VISIR e RemotElectLab

André V. Fidalgo, Gustavo R. Alves, Maria A. Marques, Maria C. Viegas, Maria C. Costa-Lobo, Unai Hernandez, Javier Garcia-Zúbia, Ingvar Gustavsson

**Title— Adapting Remote Labs to Learning Scenarios: Case Studies using VISIR and RemotElectLab**

**Abstract—** Os laboratórios remotos são uma ferramenta tecnológica e pedagógica com uso crescente em todos os níveis de educação, e sua utilização generalizada é uma parte importante do seu próprio aperfeiçoamento e evolução. Este artigo descreve vários problemas encontrados em aulas laboratoriais, em cursos de ensino superior, na utilização de laboratórios remotos baseados em sistemas PXI, utilizando o sistema VISIR ou uma solução alternativa. São identificados e explicados três problemas que foram relatados por professores que deram apoio aos estudantes na utilização dos laboratórios remotos. O primeiro problema prende-se com a necessidade de permitir aos alunos selecionar a localização específica onde um amperímetro deve ser inserido nos circuitos elétricos, mesmo que incorreta, replicando as dificuldades do mundo real. O segundo é causado por falhas de sincronismo quando são necessárias várias medições em intervalos curtos, como no ciclo de descarga de um condensador. E o último problema é provocado pelo uso de um multímetro em modo DC na leitura de grandezas em CA, um procedimento que colide com as definições do equipamento. Todos os cenários são apresentados e discutidos, incluindo a solução encontrada para cada caso. A conclusão que se retira do trabalho descrito é que a área de laboratórios remotos é um campo em expansão, onde a sua utilização prática permite o aperfeiçoamento e a evolução das soluções disponíveis, exigindo uma cooperação e partilha de informação entre todos os intervenientes, i.e. investigadores, professores e alunos.

**Index Terms— Learning Goals, Real-World Scenarios, Remote Labs.**

## I. INTRODUÇÃO

UM laboratório remoto é um tipo de laboratório onde o equipamento experimental e o utilizador estão fisicamente separados e a execução da experiência exige um meio de comunicação (como a Internet) entre o utilizador e o equipamento remoto e geralmente também uma interface especificamente desenvolvida para o efeito.

Este artigo descreve os resultados práticos e a experiência obtida com a utilização de laboratórios remotos em

A. V. Fidalgo, G. R. Alves, M. A. Marques e M. C. Viegas trabalham no Instituto Superior de Engenharia (ISEP) do Politécnico do Porto (IPP) e são membros do CIETI-LABORIS, Porto, Portugal (+351.22.8340500; e-mail: {anf, gca, mmr, mcm}@isep.ipp.pt).

M. C. Costa-Lobo trabalha na Universidade Portucalense Infante D. Henrique, Porto, Portugal (e-mail: ccostalobo@upt.pt).

U. Hernandez e J. Garcia-Zúbia trabalham na Universidade de Deusto – Faculdade de Engenharia/Arquitetura de Computadores, Deusto, Espanha (e-mail: {unai.hernandez, zubia}@deusto.es).

I. Gustavsson trabalha no Blekinge Institute of Technology – School of Engineering / Electrotechnic, Karlskrona, Suécia (e-mail: ingvar.gustavsson@bth.se).

ambientes educacionais reais, expondo alguns dos problemas encontrados e as soluções que foram implementadas para os resolver. A ideia subjacente é proporcionar algumas informações operacionais sobre a aplicação prática de laboratórios remotos e também discutir alguns pormenores sobre possíveis problemas, que não se revelaram evidentes durante o desenvolvimento e implementação dos laboratórios.

Os cenários operacionais e as experiências descritas foram utilizados em aulas laboratoriais de cursos de ensino superior de engenharia no Instituto Superior de Engenharia - Politécnico do Porto, onde os laboratórios remotos são utilizados como complemento de laboratórios reais. Os problemas encontrados são de vertente pedagógica e técnica e foram identificados pelos professores responsáveis pelos cursos, quando realizaram as experiências remotas com os alunos.

A secção II descreve o ambiente pedagógico e técnico, apresentando os laboratórios remotos, o sistema VISIR e os cursos onde são utilizados. A secção III dá uma explicação mais detalhada de uma solução customizada (i.e. *RemotElectLab*), descreve a aplicação inicial e alguns problemas de instalação e de evolução do sistema subsequente. A secção IV descreve os problemas identificados pelos professores, utilizando os dois laboratórios remotos e também os esforços feitos para os resolver. E finalmente, a secção V apresenta as conclusões derivadas de todo este processo.

## II. ENQUADRAMENTO

O sistema VISIR baseia-se num laboratório remoto de arquitetura aberta, dedicado a experimentação com circuitos elétricos e eletrónicos. Permite que professores e alunos realizem experiências remotamente e em tempo real, com componentes e equipamentos de teste e medição reais (fonte de alimentação tripla DC, gerador de funções, multímetro e osciloscópio), com os quais é possível interagir via painéis frontais virtuais, disponibilizados no computador do utilizador. A placa de montagem é substituída por uma matriz de comutação, onde os componentes necessários estão fisicamente instalados. Os professores e alunos usam uma placa de montagem virtual para criar cada circuito, ou seja, para configurar os relés das conexões da matriz e os componentes instalados de forma a montar o circuito pretendido. A matriz é constituída por uma coluna de placas, que incluem também bases de componentes ou conectores para instrumentos em cada placa. Assim, o número de componentes em utilização depende do número de placas disponíveis na matriz.

O sistema VISIR foi utilizado no primeiro semestre de 2010/2011 numa disciplina de licenciatura do Instituto Superior de Engenharia - Instituto Politécnico do Porto, tendo sido anteriormente descrito [1, 2], e onde os principais resultados apresentados foram: i) referências a documentos e manuais descrevendo em detalhe a arquitetura e características técnicas [3, 4] e ii) as ações realizadas por utilizadores em três diferentes papéis (administrador, professor, estudante). O estudo descrito em [1, 2] abordou a utilização do sistema VISIR num único curso de licenciatura com grande número de alunos e onde os papéis de todos os intervenientes foram bem definidos, tendo o responsável pela disciplina sido capaz de motivar os docentes para as atividades de aprendizagem que envolviam o uso do sistema VISIR. Por exemplo, todos os elementos da equipa docente tiveram a oportunidade de experimentar e treinar com o sistema antes da sua utilização nas aulas e todos foram informados e enquadrados com os objetivos de aprendizagem planeados, sabendo que este recurso laboratorial era complementar. Este cenário contrasta com o segundo semestre de 2010/11, onde o sistema VISIR foi usado em seis disciplinas diferentes, com número de alunos muito variável (47 a 574 alunos) e pertencentes a seis cursos diferentes, ou seja com origens bem diferentes, como descrito na Tabela I. Adicionalmente, cada responsável de disciplina teve a oportunidade de definir uma série de experiências remotas e os objetivos de aprendizagem associados. A gama de experiências definidas pelos responsáveis que responderam favoravelmente ao desafio de integrar o sistema VISIR nas suas disciplinas implicou alguma negociação devido às limitações técnicas intrínsecas deste laboratório remoto. Nomeadamente, o número de placas de matriz disponíveis é limitado a 4 e a constante de tempo de todas as experiências remotas é limitada a dezenas ou centenas de milissegundos, dependendo do tipo de fonte - AC ou DC. Essas limitações implicaram a necessidade de utilizar um laboratório remoto complementar, desenvolvido internamente, para experiências na área eletrónica mais exigentes em termos de versatilidade.

### III. O REMOTELECTLAB

O *RemotElectLab* [5] é uma plataforma laboratorial de acesso remoto recente, projetada para experimentação com circuitos elétricos e eletrónicos. Foi desenvolvido depois de uma análise dos inconvenientes existentes noutras soluções de laboratórios remotos para o mesmo tipo de experiências. As opções de projeto, que surgiram da análise das referidas limitações, foram a utilização de uma plataforma construída com equipamento e componentes comerciais e a utilização de uma interface genérica que não dependesse do circuito

TABELA I  
CURSOS/DISCIPLINAS ALVO E NR DE ALUNOS/DOCENTES

Curso	Disciplina	Alunos	Docentes
Engenharia Automóvel (LEMA)	Eletricidade (ELTRI)	47	2+1
Instrumentação e Metrologia (LEIM)	Instrumentação Aplicada I (INSA1)	49	1
Engenharia da Computação e Instrumentação Médica (LECIM)	Instrumentação Aplicada I (INSA1)	68	3+1
Engenharia Química (LEQ)	Física (FISIC)	188	2+1
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (LEEC)	Teoria dos Circuitos (TCIRC)	345	6+1
Engenharia Mecânica (LEM)	Física (FISIC)	574	6+1

sob experimentação. Esta interface integra um osciloscópio, um gerador de funções, uma fonte de alimentação DC, e duas zonas especiais: uma para a visualização de uma série de oito leituras de tensão e oito leituras de corrente, e uma outra para controlar uma série de relés de comutação que permite a reconfiguração do circuito. O utilizador pode identificar as tensões de nó e as correntes de ramo que estão a ser medidas e que configurações podem ser efetuadas através da análise do diagrama de circuito, sendo possível: i) relacionar os voltímetros e amperímetros utilizados com o que é visualizado na interface, e ii) verificar quais os comutadores que estão a ser acionados e qual o efeito que eles terão no circuito, em cada posição possível. A Fig. 1 apresenta a infraestrutura e o circuito de comutação sendo visível que, por exemplo, a leitura V1 na interface corresponde à tensão de alimentação DC (medida) na entrada do circuito, I1 corresponde à corrente (medida) fornecida ao circuito pela fonte de alimentação, e que, por exemplo, ligar o interruptor identificado como "Addr. 8 2/2", irá selecionar uma resistência de carga de 270 Ω.

A interface genérica do *RemotElectLab* foi melhorada desde a sua primeira versão (1.0), pois inicialmente era necessária a instalação de um *plug-in* específico do lado do utilizador (*LabVIEW Run-Time Engine*) e a abertura de portas adicionais (além da porta 80), para permitir a interação entre cliente e servidor. A versão 2.0 substituiu este *plug-in* por um que utiliza o *Flash Player*, sendo mais genérico e comum, com a vantagem adicional de não exigir outras portas além da porta 80 padrão. Esta nova interface também reduziu o tempo de carregamento de 30 segundos para cerca de 3 segundos [6].

A primeira implementação do *RemotElectLab* foi baseada no *National Instruments Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite* (NI-ELVIS), plataforma que foi mais tarde substituída pela plataforma NI-ELVIS II em 2009. Isto implicou a adaptação dos instrumentos virtuais (VIs) para a nova plataforma - uma tarefa concluída em agosto de 2010. A nova plataforma exigiu também a readaptação da interface para o novo conjunto de VIs, que é um trabalho ainda em progresso. O objetivo é a replicação da interface inicial, apresentada em pormenor em [5], pois esta provou ser perfeitamente adequada ao ambiente experimental pretendido.

### IV. ATENDENDO AS NECESSIDADES DE DIFERENTES DOCENTES

O responsável pela disciplina de Eletricidade (ELTRI) utiliza um circuito elétrico comum, presente em motores a gasóleo para ilustrar conceitos elétricos básicos de tensão, corrente, resistência e potência. Os alunos que frequentam esta disciplina apresentam frequentemente reduzidos

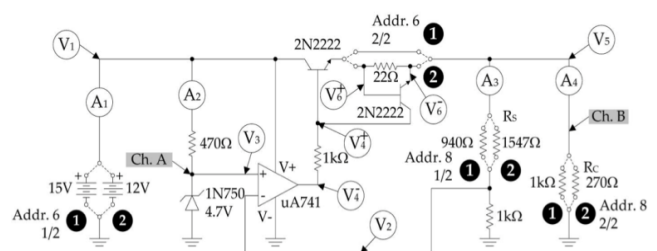


Fig. 1. Diagrama de um circuito no RemotElectLab

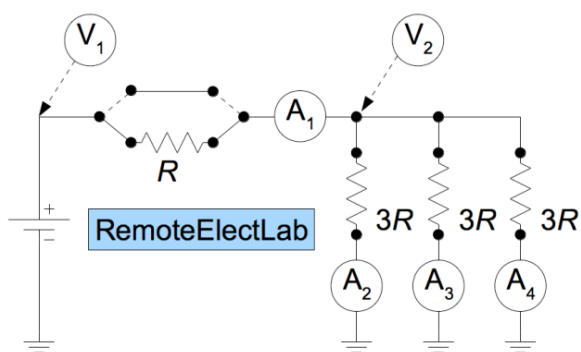


Fig. 2. Diagrama de um circuito elétrico comum, montado no *RemoteElectLab*.

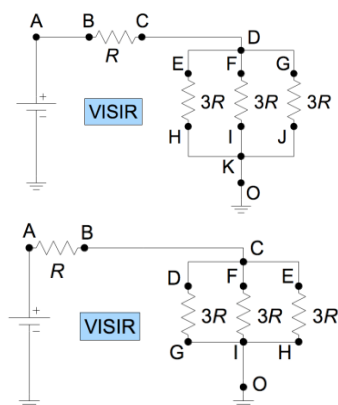


Fig. 3. Representação gráfica do mesmo circuito, ilustrando a sua implementação na matriz do VISIR (esquerda-desejável, direita-real)

conhecimento de circuitos elétricos, ou seja, têm de aprender a partir do zero e a sua motivação pode ser considerada baixa, dada a natureza do seu curso (Engenharia Automóvel) que lida predominantemente com conceitos de mecânica. A utilização do sistema VISIR com estes alunos pode ser complicada, pois algumas das limitações técnicas inerentes do sistema podem ser facilmente explicadas para pessoas com conhecimento de circuitos elétricos e equipamentos de teste e medição, mas difíceis de entender por pessoas que estão em iniciação ao tema. As duas figuras que se seguem podem ser utilizadas para explicar este aspeto.

A Fig. 2 representa o circuito referido, tal como é montado no *RemoteElectLab*. A primeira resistência, colocada imediatamente após a fonte de alimentação DC, pode ser substituída por um curto-circuito, utilizando os relés controláveis. O utilizador pode também ler as correntes de ramo e as tensões de nó, podendo determinar desta forma a potência dissipada (queda de tensão x corrente) em cada um das quatro resistências. Usando os valores medidos, o utilizador pode obter as relações intrínsecas entre quedas de tensão e correntes de ramo, usando a Regra de Tensão de *Kirchhoff* (LKT) e a Regra da Corrente de *Kirchhoff* (KCL). Este circuito muito simples, quando montado no sistema VISIR - apesar de permitir ler as mesmas variáveis (todas as tensões de nó e todas as correntes de ramo) - pode requerer até 12 nós (o que excede o número máximo de nós utilizáveis na matriz VISIR bordo, que é 10) e mais do que uma placa de matriz, como representado na fig. 3 (lado esquerdo). Note-se que um amperímetro deve ser inserido em série com um componente (antes ou depois dele) a fim

de medir a corrente elétrica que o atravessa. No sistema VISIR, isto requer a colocação de um curto-circuito entre os nós em que o amperímetro pode ser inserido, de modo a permitir as duas possibilidades, ou seja, o amperímetro estar presente ou não.

As possibilidades de medição de tensão nos nós não estão representadas porque o sistema VISIR permite conectar o voltímetro - ou qualquer canal do osciloscópio - a qualquer nó, pois corresponde a um dispositivo de alta impedância. Assim, a análise da fig. 3 (lado esquerdo), permite concluir que são necessários 14 componentes de dois pinos, ou seja, 4 resistências e 10 curto-circuitos (AB, BC, CD, DE, DF, DG, HK, IK, JK, e KO) para a implementação deste circuito no sistema VISIR. Devido a limitação já mencionada (10 nós) decidimos adicionar ao circuito um par de restrições adicionais (ver Fig. 3 - Lado direito), ou seja, o amperímetro não pode ser colocado "antes" da primeira resistência ( $R$ ) nem "depois" da resistência ( $3R$ ) colocada no centro da rede paralela. Isso significa que, dos nove locais possíveis em que o utilizador receberá uma mensagem de erro "inesperado", quando colocar o amperímetro, dois deles não apresentam uma razão plausível para isso, pois em termos elétricos a colocação estará correta. Este é um compromisso entre proporcionar aos alunos a possibilidade de experimentar esse circuito, dentro da disciplina de ELTRI, e não os confundir com detalhes sobre as restrições técnicas do sistema VISIR. Um ponto importante a abordar aqui é que, depois de discutir este circuito específico com o Prof Ingvar Gustavsson, o mentor do sistema VISIR, foi desenvolvida uma solução engenhosa, que não foi identificada numa primeira análise [7]. Esta solução está ilustrada na fig. 4 e, em certo sentido, denota um aspeto importante de todo o sistema VISIR - a existência de uma comunidade ativa que ajuda a enfrentar os problemas e desafios como o que está a ser discutido aqui. Uma breve comparação entre as duas soluções indica, contudo, que a segunda (Fig. 4) implica um total de oito resistências e 11 curto-circuitos, isto é, 19 componentes de dois pinos, o que não requer mais do que duas placas da matriz.

Numa base conceptual pura, pode-se estender a análise deste circuito, de forma a incluir a possibilidade de ler a corrente que atravessa quaisquer duas resistências em paralelo (ver fig. 5). Isso aumenta o número de locais possíveis de colocação do amperímetro para 15 (antes / depois de cada combinação de duas das três resistências em paralelo - esquerda / centro, centro / direita, e esquerda / direita - o que dá  $2 \times 3 = 6$  novos locais). Estendendo o diagrama do circuito representado na fig. 4, adicionando três curtos-circuitos (DE, DF e DE), permitiria também acomodar este novo objetivo de aprendizagem, como representado na fig. 5.

Mesmo não fazendo parte dos objetivos da experimentação remota, a sua utilização em aulas laboratoriais permitiu demonstrar que é comum para um estudante inexperiente, ao utilizar uma placa de montagem pela primeira vez, efetuar as ligações de forma que esteja a medir de forma incorreta, sendo difícil para o professor detetar o problema à primeira vista.

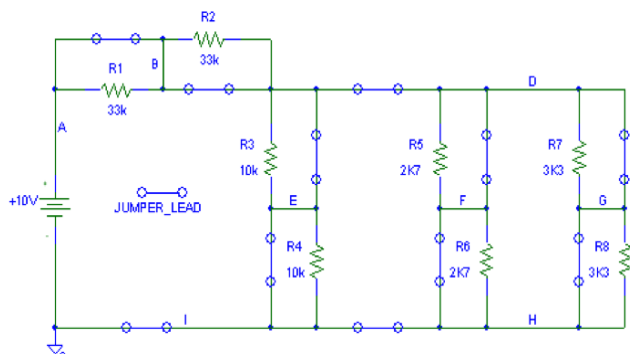


Fig. 4. Uma solução para o problema de medição de todas as correntes individuais, implementada no sistema VISIR.

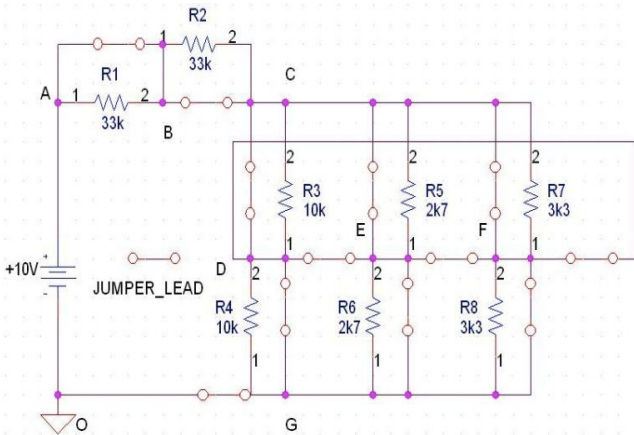
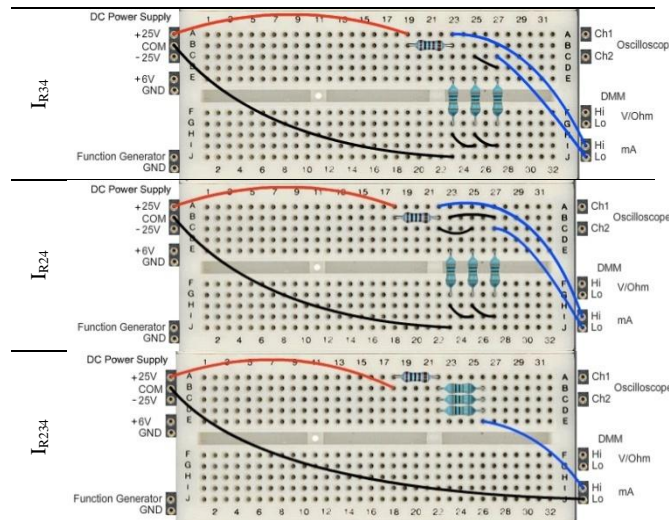
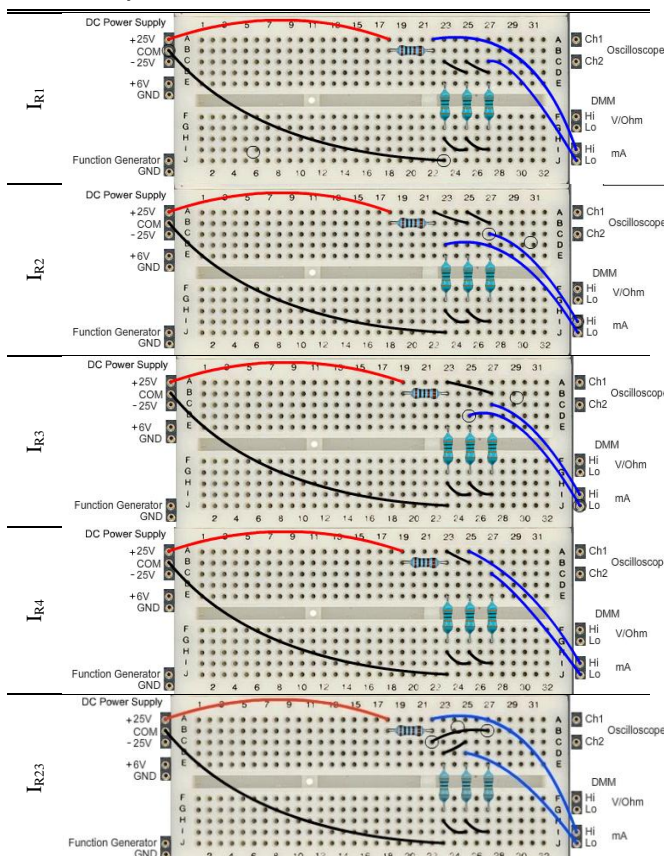


Fig. 5. Implementação que permite medir todas as correntes dos paralelos de 2 e 3 resistências no sistema VISIR.

TABELA II  
MEDIÇÃO DE TODOS OS PARALELOS DE 2 E 3 RESISTÊNCIAS



Este tipo de medidas "erradas" deve ser possível em laboratórios remotos para que os alunos possam ver as consequências de medições incorretas e aprender com seus erros. Se a implementação de um laboratório remoto não permite erros que são comuns em laboratórios reais, ou sinaliza-os como erros do sistema, acaba por fornecer uma assistência inadequada aos alunos e não cumpre o objetivo de reproduzir as condições de laboratório reais. Este aspecto é claramente demonstrado através da Tabela II, que apresenta todas as possíveis medições possíveis em termos de circuito individuais, paralelos de 2 resistências, e paralelos de 3 resistências. Na última linha da Tabela II optamos por colocar as resistências na posição horizontal apenas para ilustrar e enfatizar o tipo de configurações que os alunos podem implementar, e os professores precisam de depurar, quando algo não está a funcionar como esperado. Uma única representação esquemática pode ser implementada de muitas formas diferentes, numa placa de montagem, o que torna difícil para os alunos a visualizar e compreender a relação entre uma montagem na *breadboard* e um diagrama de circuito, e aos professores diagnosticar desfasamentos, numa sessão de laboratório típico - mesmo com um pequeno número de componentes, como é o caso no presente cenário.

Esta análise levanta a questão de se adicionar um sistema tutor inteligente no sistema VISIR, que forneceria suporte automático (i.e. *online*) para este tipo de problemas. No lado técnico seria também possível resolver o problema por meio de um tipo diferente de matriz de relés, tal como o descrito em [7], o que permitiria um aumento do número de ligações em comparação com o que é atualmente permitida pelo sistema PXI, em que se baseia a atual implementação do sistema VISIR.

Numa situação diferente, o professor responsável pela disciplina de Teoria dos Circuitos (TCIRC) pretende que os alunos compreendam o comportamento dinâmico de condensadores e bobinas quando alimentados por uma fonte DC. O problema reside no facto da constante de tempo do circuito poder exceder o tempo de duração de uma experiência típica no sistema VISIR. Por exemplo, um circuito que incluía uma resistência de 10 kΩ em série com um condensador de 220 mF irá ter uma constante de 2,2 segundos, o que está muito para além dos 50-100 milissegundos que demora a completar uma experiência em

modo DC no sistema VISIR, utilizando o osciloscópio [8]. Além disso, esta experiência é também realizada no laboratório real, onde os estudantes têm de medir a queda de tensão através do condensador, a cada segundo ( $\Delta t$ ), anotar e produzir um gráfico com esses valores, numa folha de cálculo do Excel, a fim de visualizar a curva exponencial de carga do condensador, tal como definido pela sua equação (1). A versão remota da experiência foi desenvolvida numa versão do *RemotElectLab* diferente, desenvolvida como parte do projeto *PhysicsLabFARM* e customizada para esse problema específico. A interface foi adaptada para esta tarefa específica e a experiência foi disponibilizada aos alunos através de uma página do *Moodle*, no final do semestre, ou seja, na última semana de aulas. Até o final do semestre, este recurso foi acedido mais de 40 vezes, principalmente só por curiosidade dos alunos.

$$V_C = V_{DC} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (1)$$

A sequência de ações para executar esta experiência é ilustrada nas figuras a seguir. A Fig. 6 apresenta a página de entrada, que fornece uma descrição geral da experiências de carga de condensadores e bobinas. A Fig. 7 apresenta o circuito em fase experimental, onde os utilizadores podem seleccionar - entre um número limitado de opções disponíveis - o valor DC de entrada e o valor das resistências e condensadores a utilizar. Uma vez que a configuração estiver concluída, o utilizador pode "enviar" a experiência para execução. A título de exemplo, a Fig. 8 ilustra o processo de seleção do valor dos condensadores e a Fig. 9 apresenta a mensagem exibida, indicando o tempo remanescente até a experiência estar concluída.

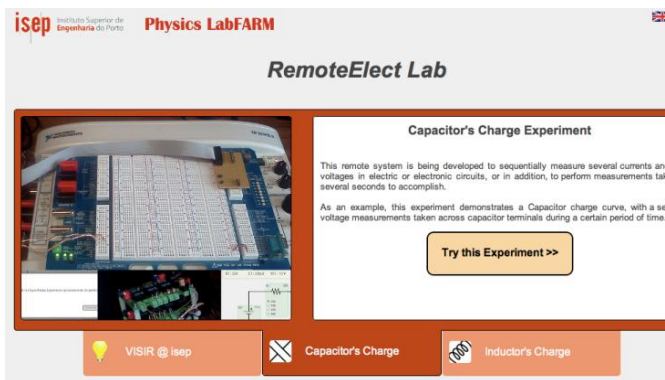


Fig. 6. Página de entrada para a experiência de carga de condensadores no projeto *PhysicsLabFARM*

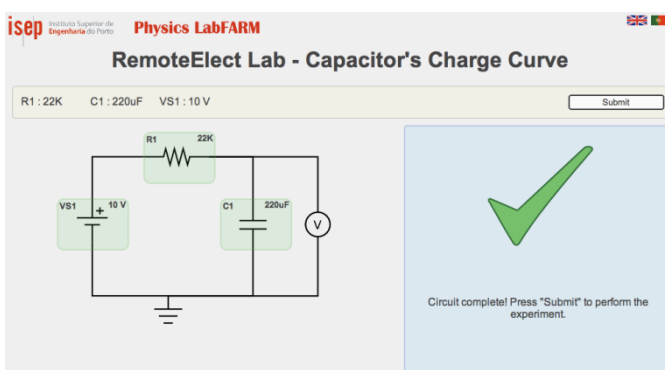


Fig. 7. O circuito experimental, com os elementos configuráveis realçados a verde.

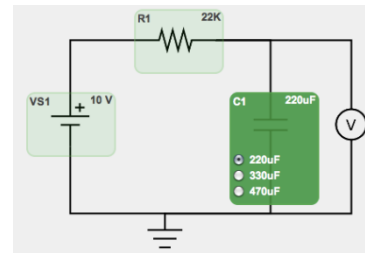


Fig. 8. A escolha de um dos três condensadores presentes na matriz.

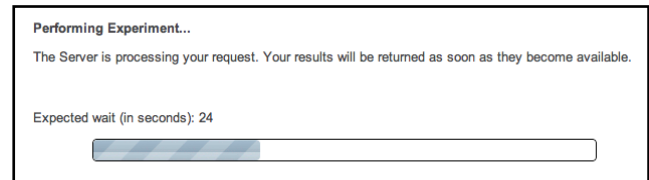


Fig. 9. Mensagem que indica que a experiência está em execução.

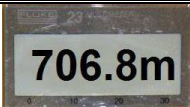
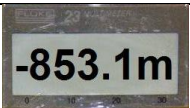
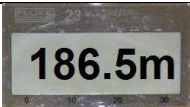
Results																					
$\Delta t = 1200 \text{ ms}$																					
t	0	$\Delta t$	2 $\Delta t$	3 $\Delta t$	4 $\Delta t$	5 $\Delta t$	6 $\Delta t$	7 $\Delta t$	8 $\Delta t$	9 $\Delta t$	10 $\Delta t$	11 $\Delta t$	12 $\Delta t$	13 $\Delta t$	14 $\Delta t$	15 $\Delta t$	16 $\Delta t$	17 $\Delta t$	18 $\Delta t$	19 $\Delta t$	20 $\Delta t$
V	-0.000	3.001	4.604	5.825	6.700	7.477	8.029	8.456	8.786	9.042	9.241	9.396	9.517	9.611	9.685	9.743	9.789	9.825	9.853	9.876	9.893

Fig. 10. Resultados experimentais obtidos.

O tempo total dependerá do da constante RC - de acordo com as opções dos utilizadores. Finalmente, a Fig. 10 apresenta a janela onde são visualizados os resultados da experiência remota, ou seja, a queda de tensão medida aos terminais do condensador a cada  $\Delta t$  - tal como definido para esta experiência - para que a  $20 \cdot \Delta t$  a tensão aos terminais do condensador seja aproximadamente 99% do valor da tensão de alimentação DC, de acordo com (1).

Foi registrada uma terceira situação na disciplina de TCIRC, decorrente da utilização do sistema VISIR, e é um assunto interessante para ser abordado tanto pelos projetistas do sistema como pelos seus utilizadores. A arquitetura que suporta o sistema VISIR assume que todas as experiências devem ser executada tão rápido quanto possível, de modo a que os recursos necessários sejam rapidamente libertados, de forma a apresentar uma elevada disponibilidade. Para conseguir isto cada experiência é ativada pelo menor tempo possível e assume-se que as leituras de grandezas elétricas são quase instantâneas. Nesta disciplina o número de alunos é substancial, pelo que se dimensionaram os tempos de execução para o seu valor mais baixo de forma a minimizar problemas de acesso às experiências. Estas seriam aparentemente simples, exigindo apenas a medição dos valores de tensão AC e DC. Um requisito específico era a medição da componente contínua da tensão de um sinal sinusoidal AC, ou seja, a sua polarização DC. Foi relatado pelo professor que as leituras pelo multímetro dos valores de tensão DC de ondas sinusoidais (a partir de um gerador de sinal) estavam erradas na maioria das leituras, e os resultados variavam consideravelmente entre experiências idênticas. Verificou-se que a forma de onda estava correta (pelo osciloscópio remoto), que a tensão AC era lida corretamente e que as leituras pelo multímetro da componente DC eram sempre entre as tensões limite da onda sinusoidal (o resultado correto deveria ser aproximadamente zero). A Tabela III exemplifica as leituras obtidas com uma onda sinusoidal com 1 Vpp.

TABELA III  
EXEMPLOS DE RESULTADOS DA MEDIÇÃO DE TENSÕES.

Medição da componente AC da tensão (RMS)	
1a medição da componente DC da tensão	
2a medição da componente DC da tensão	

Um estudo mais aprofundado da questão, utilizando uma onda quadrada, mostrou que os valores DC passavam a ser medidos como o valor máximo ou mínimo da onda. Decidiu-se testar o mesmo circuito num laboratório real, utilizando equipamento semelhante ao do sistema remoto, e ainda que os resultados tenham sido diferentes, ou seja, o multímetro lia o valor corretamente, foi possível constatar que demorava alguns segundos para que a leitura estabilizasse no valor correto. Devido ao funcionamento interno do multímetro há um atraso relevante até que o valor médio real é visualizado, durante o qual o multímetro exibe o que parecem ser os valores da tensão instantânea. Este facto advém da necessidade de ser analisado pelo menos um período completo da onda em observação, mais o tempo de processamento, antes que seja possível uma leitura precisa dos valores médios (ou RMS).

O sistema VISIR exige tempos diferentes (definidos pelos requisitos de sistema PXI) para medir os valores em AC ou DC. Estes intervalos de tempo são consideravelmente maiores para AC (50 ms para AC vs 10ms para DC), a fim de lidar com o maior tempo de medição. No entanto, ao tentar medir valores de DC em AC este intervalo é insuficiente e os valores visualizados são representativos do ciclo de ajuste inicial, visível no multímetro real. Embora aparentemente trivial, esta questão demonstra que algumas configurações do laboratório remoto podem interferir nos resultados experimentais, principalmente quando o tempo é uma questão relevante. A necessidade de uma elevada disponibilidade, que exige a execução muito rápida das experiências, deve ser analisada de forma a evitar a introdução de erros de leitura, dependendo da experiência em si. Neste caso, existem algumas soluções que podem ser aplicadas imediatamente a diferentes níveis, por exemplo é possível aumentar o tempo de experiência e aceitar uma menor disponibilidade ou modificar a experiência (aumentando as frequências, por exemplo) para obter um tempo de resposta mais baixo. Num nível mais elevado, é possível utilizar multímetros mais rápidos e / ou otimizar o próprio sistema VISIR.

## V. CONCLUSÕES

Os laboratórios remotos são atualmente considerados uma abordagem complementar aos laboratórios presenciais, com diferentes níveis e objetivos de aprendizagem. No entanto, e

considerando que são desenvolvidos de forma a replicar o desempenho das experiências e equipamentos reais, é de extrema importância definir um conjunto alargado de cenários experimentais. Mesmo assim, como demonstrado com o sistema VISIR, um laboratório com considerável implantação internacional, este objetivo não é fácil de atingir, uma vez que podem surgir problemas novos a qualquer momento. Alguns deles podem ser resolvidos dentro das capacidades de adaptação do sistema, mas outros podem exigir mudanças ao nível da sua própria arquitetura.

A existência de uma comunidade VISIR extensa e ativa é uma vantagem importante e fornece o impulso para a evolução e aperfeiçoamento do sistema. Os utilizadores, sejam eles professores ou alunos, muitas vezes têm exigências diferentes ou identificam problemas que não foram previstos pelos projetistas. Esta informação de retorno é muitas vezes utilizada para adicionar novos recursos, melhorar a interface ou o funcionamento do sistema ou então para melhorar a documentação e esclarecer metodologias.

Alternativamente, algumas experiências requerem soluções específicas e customizadas que, por enquanto, estão fora do propósito do sistema VISIR. A abordagem multinível descrita foi desenvolvida para que os objetivos propostos para os laboratórios remotos fossem atingidos. Na maioria dos casos, o laboratório remoto é capaz de replicar a experiência presencial de forma eficaz e com relativa facilidade. Em alguns casos, principalmente os referidos neste documento, foi necessário um trabalho de adaptação e ajuste das experiências e, ocasionalmente, a experiência ou o laboratório remoto tiveram mesmo de ser alterados.

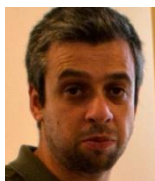
Como muitas vezes é dito na área militar "... nenhum plano de batalha sobrevive ao contato com o inimigo ...", e isto também é verdade para a experimentação laboratorial em geral e para os laboratório remotos, em particular. As experiências descritas mostram que assim que os utilizadores começam a realizar experiências, alguns *bugs* e problemas irão sempre ocorrer. Cabe à infraestrutura de suporte lidar com eles, garantindo que os utilizadores finais obtêm o que esperam, ou seja, um laboratório operacional e útil.

## REFERÊNCIAS

- [1] G. R. Alves et al., "Using VISIR in a large undergraduate course: Preliminary assessment results" Proceedings of the 2<sup>nd</sup> IEEE Engineering Education Conference (EDUCON'11), pp. 1125-1132, Amman, Jordania, 4-6 April 2011.
- [2] M. C. Costa Lobo et al., "Using VISIR in a large undergraduate course: Initial findings," Proceedings of the 2011 Frontiers in Education Conferences (FIE'11), 41<sup>st</sup> Edition, Rapid City, South Dakota, US, 12-15 October 2011, in press.
- [3] I. Gustavsson et al., "A Flexible Electronics Laboratory with Local and Remote Workbenches in a Grid," International Journal of Online Engineering (iJOE), vol. 4, n.o 2, pp. 12-16, 2008.
- [4] I. Gustavsson et al., "On Objectives of Instructional Laboratories, Individual Assessment, and Use of Collaborative Remote Laboratories," IEEE Transactions on Learning Technologies, vol. 2, pp. 263-274, Oct.- Dec. 2009. doi:10.1109/TLT.2009.42
- [5] Nuno Sousa, Gustavo R. Alves, and Manuel G. Gericota, "An Integrated Reusable Remote Laboratory to Complement Electronics Teaching," IEEE Transactions on Learning Technologies, July-Sept. 2010, Vol. 3, nr. 3, pp. 265-271, ISSN: 1939-1382, DOI: 10.1109/TLT.2009.51.
- [6] Pedro J. Teixeira, "Building Flex Interfaces for Remote Experimentation Systems", Master Thesis, School of Engineering –

Polytechnic of Porto, Portugal, September 2010, p. 109. [Construção de Interfaces em Flex para Sistema de Experimentação Remota, Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto].

- [7] I. Gustavsson, "On Remote Electronics Experiments", Using Remote Labs in Education, University of Desuto, Bilbao, 2011, pp. 157-176
- [8] J. García-Zubía, U. Hernández-Jayo, I. Angulo, D. López-de-Ipiña, P. Orduña, J. Irurzun, O. Dziabenko, "LXI Technologies for Remote Labs: An Extension of the VISIR Project," iJOE – Volume 6, Special Issue 1: REV2010, September 2010, pp. 25-35.



**André V. Fidalgo** licenciou-se em 1996 e recebeu o mestrado e doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, em 1999, e 2008, respetivamente, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. Membro do Departamento de Engenharia Eletrotécnica (DEE) do Instituto Superior de Engenharia (ISEP) do Politécnico do Porto desde 1999, onde é Professor Adjunto e também é membro do grupo de investigação CIETI-LABORIS. É autor ou coautor de mais de 20 artigos em conferências nacionais e internacionais e revistas com júri. Seus atuais interesses de investigações centram-se nos laboratórios remotos, projeto e teste de hardware digital, análise de confiabilidade, sistemas de microprocessadores e hardware reconfigurável (FPGAs).



**Gustavo R. Alves** é Licenciado, Mestre, e Doutor em Eng. Eletrotécnica e de Computadores, pela Universidade do Porto, Portugal, em 1991, 1995, e 1999, respetivamente. É Professor Adjunto no Departamento de Engenharia Eletrotécnica (DEE) do Instituto Superior de Engenharia (ISEP) do Politécnico do Porto, desde Janeiro de 1994. É responsável pelo Núcleo de Investigação em Sistemas de Teste (LABORIS), do Centro de Inovação em Engenharia e Tecnologia Industrial (CIETI). Publicou mais de 115 artigos em revistas e conferências internacionais, com comité de revisão. Recentemente, coeditou (2011) um livro na área dos laboratórios remotos. As suas áreas de interesse incluem o ensino em engenharia, a experimentação remota, as metodologias e infraestruturas de teste e depuração de sistemas eletrónicos, e as tecnologias de apoio ao ensino laboratorial. O Dr. Alves é membro do Global Online Laboratory Consortium (GOLC), da Sociedade Internacional para a Educação em Engenharia (IGIP), da Sociedade Portuguesa para a Educação em Engenharia (SPEE), e da Ordem dos Engenheiros (OE), em Portugal.



**Maria A. Marques** licenciou-se em Física pela Universidade do Porto, e terminou o seu mestrado em *Physics of Laser Communications* pela Universidade de Essex, em 1988 e 1992, respetivamente. Obteve o seu Doutoramento em Ciências da Engenharia pela Universidade do Porto em 2008, através do desenvolvimento de um sensor (patente Portuguesa) para medir forças no pé, com grande relevância na medição das componentes de corte. Leciona no Instituto Superior de Engenharia (ISEP) do Politécnico do Porto desde 1995, nas disciplinas de física, eletrónica e biomecânica. Está envolvida em vários projetos de I & D e tem sido um membro da Direção do Departamento de Física, sendo responsável pelas instalações laboratoriais desde 2008. Ela é autora e coautora de mais de 40 artigos de conferência e revista, uma patente nacional e um capítulo de livro. Seus interesses de investigação centram-se na modelização, análise e instrumentação biomecânica, e em recursos educacionais de experimentação remota.



**Maria C. Viegas** licenciou-se em Física/Matemática Aplicada pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto em 1991. Completou em 1998 o Mestrado em Engenharia Mecânica pela Faculdade de Engenharia da mesma Universidade e o Doutoramento em Ciência e Tecnologia pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro em 2010. Desde 1994 é docente no Departamento de Física do Instituto Superior de Engenharia do Porto, ocupando atualmente o cargo de Professor Adjunto. É membro do laboratório de investigação CIETI-LABORIS, sediado no ISEP, colaborando também num grupo de investigação sediado na UTAD. É coautora de um livro, vários capítulos de livro e vários artigos científicos publicados internacionalmente. As principais áreas de interesse são a física, didática da física, ensino à distância, aprendizagem informal.



**Cristina C. Lobo** licenciou-se em 2001 e recebeu o Mestrado e Doutoramento em Psicologia, em 2006 e 2011, respetivamente, ambos pela Universidade do Minho, Portugal. Entrou para o Departamento de Ciências da Educação e Património da Universidade Portucalense em 2011, onde passou a deter o cargo de Professor Adjunto. Também é membro do grupo de investigação CIETI-LABORIS. Ela é autora ou coautora de 15 artigos em conferências nacionais e internacionais e revistas, com júri. Seus interesses atuais de investigação centram-se no ajustamento do emprego, empregabilidade dos diplomados do ensino superior, avaliações de aprendizagem com estudantes do ensino superior, e eficácia do desempenho dos professores.



**Unai Henandez-Jayo** recebeu o grau de Mestre em Engenharia de Telecomunicações pela Universidade de Deusto, Espanha, em 2001, e o Doutoramento pela mesma instituição em 2012. Ele é Professor no Departamento de Telecomunicações da Universidade de Deusto e membro do grupo de investigação WebLab-Deusto. Os seus interesses de investigação incluem instrumentos de controlo, protocolos de comunicações e eletrónica analógica em laboratórios remotos.



**Javier Garcia-Zubia** licenciou-se em 1987 e recebeu o Doutoramento em 1996, pela Faculdade de Engenharia da Universidade de Deusto, Espanha. Leciona no Departamento de Tecnologias Industriais, onde é Professor Titular. É também investigador do Instituto de Tecnologia de Deusto (DeustoTech) no Grupo de Aprendizagem. A sua investigação atual está centrada em laboratórios remotos e dispositivos lógicos programáveis. É o responsável do projeto WebLab-Deusto ([www.weblab.deusto.es](http://www.weblab.deusto.es)), está envolvido em diversos projetos europeus e o seu trabalho de investigação foi publicada por diversas revistas e conferências. É coeditor dos livros "Using remote labs in education" e "Advances on remote labs and e-learning experieces" com Gustavo Alves e Luis Gomes em 2007 e 2011, respetivamente.



**Ingvar Gustavsson** recebeu os graus MSEE e DR SC pelo Instituto Real de Tecnologia (KTH) em Estocolmo, em 1967 e 1974, respetivamente. Depois de completar o serviço militar em 1968, ele trabalhou como engenheiro de desenvolvimento na Jungner Instrumento AB, em Estocolmo. Em 1970, juntou-se ao projeto de visão por computador SYDAT do Laboratório de Instrumentação do KTH. Em 1982 foi nomeado Chefe do Laboratório de Instrumentação. Juntamente com outro cientista, fundou em 1983 uma empresa privada que fornece sistemas de inspeção automáticas para clientes industriais. Em 1994, retornou ao mundo académico para assumir sua posição atual como professor associado de eletrónica e tecnologia de medidas no Blekinge Institute of Technology (BTH), Suécia. Ele reformou-se parcialmente em 2012. Seus interesses de investigação centram-se nas áreas da instrumentação, laboratórios remotos, eletrónica industrial e ensino à distância. É membro do IEEE.