

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/359269867>

Infra-estruturas de Apoio ao Ensino Laboratorial – Casos de Aplicação em Engenharia Electrotecnica – jan 2010

Technical Report · January 2010

DOI: 10.13140/RG.2.2.27607.96162

CITATIONS

0

READS

3

1 author:



Gustavo Ribeiro Alves

Polytechnic Institute of Porto

296 PUBLICATIONS 2,267 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



PILAR - Platform Integration of Labs based on the Architecture of VISIR [View project](#)



ICEER2017 - The 4th International Conference on Energy and Environment Research [View project](#)

Título da lição

**Infra-estruturas de Apoio
ao Ensino Laboratorial:
Casos de Aplicação
em Engenharia Electrotécnica**

Título da lição

Gustavo Ribeiro da Costa Alves

10 de Janeiro de 2010

Texto completo da lição a apresentar no âmbito do concurso de provas públicas para provimento de uma vaga de Professor Coordenador do Mapa de Pessoal do Instituto Superior de Engenharia do Instituto Politécnico do Porto, na área científica de Engenharia Electrotécnica, conforme Edital n.º 699/2009, publicado no Diário da República, 2ª série – N.º 138 de 20 de Julho de 2009, p. 28338.

Prefácio

O perfil dos alunos que ingressam no Ensino Superior, em particular no ISEP, tem vindo a mudar ao longo dos últimos anos. Desde alunos sem qualquer tipo de formação nas componentes práticas tecnológicas, a alunos com vida profissional activa em empresas na área da engenharia, é possível encontrar variados exemplos. Esta situação é peculiarmente visível no Curso de Engenharia Electrotécnica e Computadores, que funciona em regimes diurno e pós-laboral, e no qual o autor tem desenvolvido a sua actividade docente ao longo dos últimos dezasseis anos.

A heterogeneidade do tipo de aluno que ingressa em engenharia e o aumento da sua autonomia, fruto da redução do número de horas de contacto semanais, introduzida pelo processo de Bolonha, em conjunto com outros factores, tem levado a uma crescente preocupação com a aquisição comprovada de competências experimentais, que garantam um reconhecido bom exercício da prática da engenharia pelos diplomados do ISEP. É neste contexto que assume especial importância a frequência e a preparação antecipada das aulas práticas laboratoriais. Esta situação ideal enfrenta porém vários obstáculos: (i) os alunos raramente têm tempo para acabar os trabalhos laboratoriais no decorrer das aulas desta natureza; (ii) os alunos do regime pós-laboral frequentemente faltam ou chegam atrasados às aulas práticas laboratoriais (e, paradoxalmente, também os do regime diurno); e, (iii) é comum os alunos falharem partes do guião laboratorial ou efectuarem medições erradas, situação que só posteriormente reconhecem, aquando da elaboração do relatório, sendo nessa altura tarde demais para as realizarem ou repetirem.

Desta realidade emerge a vantagem evidente dos alunos disporem de uma infra-estrutura de apoio ao ensino laboratorial, acessível de qualquer lugar e em qualquer momento, que lhes permita a aquisição e o treino de competências experimentais, em harmonia com as suas capacidades, ritmos e estilos de vida, respeitando em simultâneo o requisito fundamental da garantia da qualidade de formação oferecida na área das engenharias.

Lista de acrónimos

ABET	<i>Accreditation Board for Engineering and Technology</i>
AJAX	<i>Asynchronous JavaScript and XML</i>
BTH	<i>Blekinge Tekniska Högskola</i>
CBL	<i>Computer based Learning</i>
CIETI	Centro de Inovação em Engenharia e Tecnologia Industrial
CPLD	<i>Complex Programmable Logic Device</i>
ELVIS	<i>Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite</i>
FEELE	Fundamentos de Engenharia Electrotécnica
GPIB	<i>General Purpose Interface Bus</i>
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
IEEL	Introdução à Engenharia Electrotécnica
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
IVI	<i>Interchangeable Virtual Instrument</i>
LABORIS	Laboratório de Investigação em Sistemas
LAN	<i>Local Area Network</i>
LEEC	Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
LMS	<i>Learning Management System</i>
LXI	<i>LAN eXtensions for Instrumentation</i>
NI	<i>National Instruments</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PCI	<i>Personal Computer Interface bus</i>
PXI	<i>PCI eXtended Instrumentation bus</i>
SBBT	<i>Second Best to Being There</i>
SOAP	<i>Simple Object Access Protocol</i>
UC	Unidade Curricular
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
VI	<i>Virtual Instrument</i>
VISIR	<i>Virtual Instrument Systems in Reality</i>
VPN	<i>Virtual Private Network</i>
WWW	<i>World Wide Web</i>
XML	<i>eXtended Markup Language</i>

Índice

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	DAS COMPETÊNCIAS EXPERIMENTAIS AO ENSINO LABORATORIAL.....	1
1.2	LABORATÓRIOS REAIS, VIRTUAIS, E REMOTOS	2
1.3	LABORATÓRIOS REMOTOS: MOTIVAÇÃO, FUNDAMENTOS E CARACTERÍSTICAS	4
1.4	UTILIZAÇÃO DE LABORATÓRIOS REMOTOS NO ENSINO DA ENGENHARIA.....	7
2	ARQUITECTURAS DE LABORATÓRIOS REMOTOS	9
2.1	REQUISITOS DE ARQUITECTURA PARA LABORATÓRIOS REMOTOS	9
2.2	EXEMPLOS DE ARQUITECTURAS DE LABORATÓRIOS REMOTOS	12
2.2.1	<i>WebLab-Deusto</i>	12
2.2.2	<i>VISIR</i>	14
2.2.3	<i>RemotElectLab</i>	17
2.3	SÍNTESE E BREVE ANÁLISE COMPARATIVA	18
3	CASOS DE APLICAÇÃO EM ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA	19
3.1	VISIR: CIRCUITOS ELÉCTRICOS E ELECTRÓNICOS BÁSICOS.....	19
3.2	REMOTELECTLAB: CIRCUITOS ELECTRÓNICOS COMPLEXOS	23
4	CONCLUSÃO E DIRECÇÕES FUTURAS	27
5	REFERÊNCIAS	29
6	ANEXOS.....	33

1 Introdução

Em Janeiro de 2002, um conjunto alargado de agentes ligados ao ensino da engenharia, em particular ao papel dos laboratórios nesse processo, reuniram, nos Estados Unidos, com o objectivo de responder à seguinte questão: “*Quais são os objectivos fundamentais dos laboratórios de ensino de engenharia?*”. Conforme relatam Feisel & Peterson (2002), o encontro surgiu da preocupação com qualidade do ensino da engenharia, num ambiente caracterizado por: (i) uma mudança no tipo de alunos a ingressar ao nível da pré-graduação; (ii) uma adaptação das instituições a essa mudança, traduzida na adopção de novas metodologias de ensino/aprendizagem, nomeadamente de recursos de ensino à distância. Sendo certo que um programa educacional para uma profissão onde o “saber fazer” e a prática são fundamentais, e que, para esse processo, se utilizam laboratórios reais e actividades baseadas em projectos, até que ponto poderão essas mesmas competências ser adquiridas através de ambientes de ensino à distância? Do encontro realizado, foi possível chegar a uma lista de treze objectivos (reproduzida em anexo) aplicáveis a práticas laboratoriais de um programa de pré-graduação em engenharia, constituindo assim uma base de trabalho inicial que relevasse a importância das competências experimentais.

1.1 Das competências experimentais ao ensino laboratorial

Entre a comunidade ligada ao ensino da engenharia é consensual o reconhecimento da importância da aquisição de competências experimentais. Seja como forma de verificação de conceitos teóricos pré-adquiridos ou como forma de construção de hipóteses que sirvam de suporte à formulação posterior de leis e comportamentos, a experimentação emerge como uma das actividades fundamentais no processo de ensino/aprendizagem em engenharia. As actividades experimentais decorrem por excelência nos laboratórios, que, de acordo com Feisel & Rosa (2005), podem ser divididos em três tipos básicos, em contexto de engenharia: de apoio ao ensino, ao desenvolvimento, e à investigação. De acordo com os mesmos autores, importa distinguir estes tipos para melhor compreender a natureza dos objectivos educacionais associados, e, em particular, ao primeiro tipo, i.e. aos laboratórios de apoio ao ensino. É assim referido que os alunos frequentam um laboratório educacional para aprender algo que se assume ser praticado e dominado por engenheiros diplomados. É esse “algo” que, ainda de acordo com os mesmos autores, necessita de ser melhor definido, através da especificação concreta e detalhada de objectivos educacionais, por forma a que os laboratórios possam produzir um benefício à altura do esforço e tempo neles investidos, tanto por alunos e professores, como também pelas instituições, particularmente no que respeita aos recursos.

Num movimento paralelo, o recente processo de Bolonha, orientador da reforma operada ao nível dos currículos e graus académicos no contexto Europeu, levou a uma diminuição do tempo de contacto presencial dos alunos com os professores, afectando em particular a

exposição dos alunos ao ambiente laboratorial¹. Este mesmo ambiente laboratorial tem contudo vindo a enriquecer-se e a tornar-se mais complexo, com a introdução de computadores pessoais, em inícios/meados da década passada, com ligação à Internet, desde finais da década passada, inícios desta década, e de instrumentos de medição, passíveis de controlo/observação automática através de computador. Assim, dos tradicionais modelos de dois passos baseados na análise teórica seguida de verificação experimental, ou da observação experimental seguida da formulação teórica, passou-se a incluir um terceiro passo baseado na simulação, acrescentando assim maior complexidade aos modelos anteriores. De facto, a simulação acrescentou um novo item ao leque de ferramentas educacionais de suporte ao ensino/aprendizagem de engenharia. Se numa dada fase, esta actividade requeria a instalação de software específico em cada computador (muitas vezes suportado por licenças de custo não desprezível), numa fase posterior a disponibilização de motores de simulação de domínio público e a proliferação de aplicações de simulação acessíveis via rede (i.e. WWW), levou a uma maior oferta e, consequentemente, utilização da simulação em contexto laboratorial.

A ligação dos instrumentos de medição a computadores, com a possibilidade inerente de ligação em rede, levou ao aparecimento de um novo ambiente de ensino laboratorial, i.e. os laboratórios remotos. Associado a este ambiente, emerge o conceito de experimentação remota, onde os alunos podem aceder remotamente, através de um simples computador ligado à rede e de uma aplicação de navegação (i.e. *web browser*), aos instrumentos e objectos sob experimentação, localizados num dado laboratório da sua, ou de outra qualquer, instituição de ensino.

1.2 Laboratórios reais, virtuais, e remotos

Os ambientes laboratoriais podem ser classificadas com base em dois critérios:

- A forma de acesso ao recurso experimental
- A natureza do recurso experimental.

Em relação ao primeiro critério existe o acesso remoto, através da Internet, e o acesso local, i.e. não é necessário recorrer à Internet para manipular os vários componentes da experiência. Em relação à natureza dos recursos, estes podem ser reais ou corresponderem a modelos computacionais para simulação. Da combinação destes dois critérios obtemos

¹ A título meramente exemplificativo, refira-se o caso da disciplina de Introdução à Engenharia Electrotécnica (IEEL), do 1º ano, 1º semestre, do Bacharelato em Engenharia Electrotécnica e Computadores, do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), leccionado entre os anos lectivos 1999/2000 e 2005/2006, que possuía um tempo de exposição semanal com duas horas teóricas, duas horas teórico-práticas, e quatro horas de práticas laboratoriais. A adequação deste curso ao formato de Bolonha, i.e. a sua transformação na Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e Computadores (LEEC), levou à substituição da disciplina IEEL pela disciplina denominada Fundamentos de Engenharia Electrotécnica (FEELE), com uma carga horária associada de três horas teóricas, uma hora de orientação tutória, e três horas laboratoriais. Do caso descrito facilmente se observa uma redução de 25% na componente laboratorial.

três tipos de ambientes laboratoriais, ou experimentais, que apesar de bastante diferentes englobam todas as possibilidades de realização experimental (ver Figura 1):

- Acesso local a um recurso real: representa o laboratório tradicional onde os alunos estão em contacto com os vários componentes da experiência. A aquisição de dados pode ser feita ou não por computador;
- Acesso local a um recurso simulado: aqui todo o ambiente laboratorial é simulado através de uso de software e a aquisição de dados é feita por computador usando essa simulação;
- Acesso remoto a um recurso real: representa o acesso a uma experiência real através da Internet. Os alunos controlam a experiência através de interfaces criadas para o efeito. A esta possibilidade é usual dar-se o nome de Laboratórios Remotos;
- Acesso remoto a um recurso simulado: esta forma de fazer experimentação é algo semelhante à anterior mas os sistemas reais são substituídos por sistemas virtuais. Os alunos acedem a estes recursos através da Internet. Uma das diferenças em relação aos anteriores é que vários utilizadores podem estar a utilizar o mesmo recurso, simultaneamente.

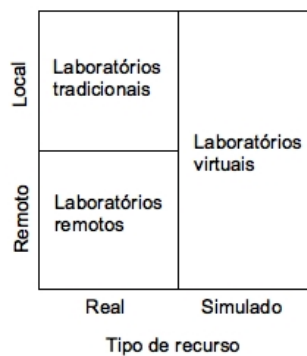


Figura 1: Tipos de ambientes laboratoriais.

Os três tipos de ambientes laboratoriais possuem características próprias que os adequam em maior ou menor grau a cada uma das competências experimentais. O trabalho de Soysal (2000) é, reconhecidamente, pioneiro nesta área, nomeadamente ao efectuar uma comparação das diferentes actividades experimentais, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Comparação de diferentes actividades experimentais [Soysal (2000)].

	Projectos de desenvolvimento individuais	Experiências segundo guiões laboratoriais com instrumentos convencionais	Simulação	Demonstrações em sala de aula	Experiências com instrumentos ligados a computador	
					Local	Remoto
Seleccção de instrumentos	****	**	-	-	**	-
Seleccção de componentes e material	****	**	**	-	**	-
Montagem do aparato experimental	****	****	**	-	****	-
Depuração	****	****	****	-	****	-
Percepção das condições ambientais	****	****	-	-	****	-
Configuração e ajuste dos instrumentos	****	****	.	-	****	**
Recolha de dados	**	**	****	**	****	**
Processamento numérico dos dados recolhidos	**	**	****	**	****	****
Análise e interpretação dos resultados	**	**	****	**	****	****
Compreensão dos conceitos físicos	.	.	****	**	****	****
Apresentação dos resultados da experiência	.	.	****	.	****	****

Uma nota importante acerca desta tabela refere-se ao facto de ser baseada em actividades inseridas no ensino da engenharia electrotécnica, conforme constatável em Soysal (2000). A análise das vantagens/desvantagens de cada um destes tipos de ambientes laboratoriais e da sua adequação a cada tipo de actividade experimental tem sido objecto de posterior discussão e investigação, com destaque para Nedic et al. (2003), Feisel & Rosa (2005), Ma & Nickerson (2006), Corter et al. (2007), e Alves et al. (2008).

1.3 Laboratórios remotos: motivação, fundamentos e características

O elemento mais recente dos três tipos de ambientes laboratoriais apresentados é, indubitavelmente, o laboratório remoto. Interessa, pois, descrever sucintamente as motivações e a sua evolução, antes de se referir, em maior pormenor, os casos de utilização no ensino da engenharia.

Qual a motivação para a experimentação remota? Uma breve, não exaustiva, pesquisa da literatura relacionada permite listar as seguintes respostas:

- Trata-se de uma tecnologia educacional, de natureza complementar, que permite aos alunos efectuarem experiências reais a partir de qualquer computador ligado à rede, no seguimento da realização das mesmas experiências num dado laboratório real, dito tradicional, como parte da componente prática de uma dada disciplina, ou curso.
- Da mesma forma (complementaridade), permite aos professores demonstrar conceitos teóricos durante o decorrer de uma aula de carácter expositivo (i.e. teórica), através da simples ligação a um laboratório remoto e execução de uma ou mais experiências, visualizáveis por toda a classe através de um simples videoprojector ligado ao computador do professor (ou da sala de aula).
- Colmata uma brecha entre as simulações e as experiências reais, utilizando igualmente o computador que executa o motor de simulação. Note-se, neste contexto, que as simulações (ou laboratórios virtuais) actuam muitas vezes como uma antecâmara do laboratório remoto, permitindo ao aluno praticar determinadas acções/competências num ambiente seguro, controlado, e, em seguida, após ter adquirido um determinado grau de confiança, ou ter passado um determinado processo de avaliação, efectuar as mesmas acções, de forma remota, sobre instrumentos e dispositivos reais.
- Trata-se de uma solução económica para cursos à distância nas áreas das ciências e engenharias que tradicionalmente requerem uma ou mais semanas de presença efectiva num dado local, para completar a parte prática desses mesmos cursos. Ainda neste aspecto (económico), possibilita que instituições de ensino superior, em particular privadas, aceitem mais alunos nos cursos oferecidos, muitas vezes limitados (em *numerus clausus*) pelas capacidades dos laboratórios² de que dispõem.
- A possibilidade de executar experiências reais através de uma interface para computador transfere o problema da acessibilidade³ do laboratório (espaço) para o computador, para o qual existem actualmente um conjunto de soluções já provadas e de uso generalizado.
- Permite aceder a equipamento de custo elevado (e.g. um microscópio electrónico) numa base de 24/7 horas/dias (à parte os períodos de manutenção), dando assim a possibilidade a alunos e professores de uma dada instituição que não possua esse equipamento de efectivamente usufruir da sua utilização.
- Possibilita o trabalho colaborativo entre alunos, embora este tipo de procedimento requiera: (i) a existência de ferramentas de comunicação do tipo síncrono (texto, áudio, ou vídeo); (ii) a possibilidade de passar o controlo da experiência ou de determinados instrumentos entre utilizadores envolvidos numa dada experiência, ou permitir o controlo parcial, i.e. um aluno controla o instrumento A e um outro

² O custo de um laboratório bem apetrechado, com um técnico adstrito e um orçamento para consumíveis, é elevado, em determinadas áreas científicas, sendo mesmo proibitivo, para algumas instituições.

³ Define o grau de utilização ou de acesso de um determinado objecto, espaço ou serviço, para um dado utilizador, em particular para pessoas com necessidades especiais.

aluno controla o instrumento B, interagindo ambos para completar um dado trabalho laboratorial, entre outras soluções possíveis.

Para além dos aspectos motivacionais⁴ listados, é interessante notar que a experimentação remota surgiu, em alguns casos, como uma evolução natural de algo pré-existente. Imaginemos, por exemplo, um dado equipamento ou aparato controlado através de uma interface electrónica dedicada (e.g. uma instalação de experiências com material radioactivo). Com a utilização generalizada dos computadores, a interface anterior passa a ser um simples programa de computador, e, mais tarde, com a interligação dos computadores em rede, passa a ser possível controlar esse mesmo equipamento ou aparato através de qualquer computador ligado à mesma rede, conforme constatável em Goldberg et al. (1995), Gertz et al. (1994), Ferrell & Sheridan (1967), e Goertz & Thompson (1954). Pode assim entender-se esta evolução como sendo de baixo para cima (i.e. *bottom-up*), uma vez que os equipamentos destinavam-se a ser controlados à distância, e, seguindo as tendências de adoptar interfaces baseadas em computador e, mais tarde, a interligação desses mesmos computadores em rede, passou a ser possível controlar esse mesmo equipamento (ou a sua evolução natural) a partir de qualquer computador ligado à Internet. Dado que ao nível das instituições de ensino superior é usual, existindo mesmo uma preocupação neste aspecto, apresentar-se casos de estudo baseados em equipamento real, de última geração, facilmente se passou ao acesso a esses equipamentos, num cenário de experimentação remota. Numa evolução do estilo de cima para baixo (i.e. *top-down*), várias instituições de ensino começaram a utilizar computadores como uma ferramenta educacional, num contexto de Aprendizagem Baseada em Computador (i.e. *Computer Based Learning*, CBL), evoluindo mais tarde para contextos de ensino à distância (*e-learning* ou *online learning*). Nas áreas específicas das ciências e das engenharias, rapidamente a comunidade de ensino se apercebeu da necessidade de estabelecer combinações de maior potencial, como por exemplo: ligar conteúdos educacionais de diferentes fontes; hiper-ligações de documentos para módulos do tipo experimental, nomeadamente em ambientes de simulação, ou, mais tarde, para experiências reais acessíveis remotamente, conforme descrito em Cobby et al. (1995). Rapidamente, a WWW proporcionou uma plataforma para a implementação em larga escala destes conceitos e ideias, incluindo a oferta gratuita de materiais educacionais para toda a comunidade ligada ao ensino da engenharia, conforme descrito em Richards (2001). Em relação ao caso concreto da experimentação remota, as primeiras referências à disponibilização através da WWW de um laboratório completo de apoio a aulas de pré-graduação, datam de meados da década de 90. Em particular, Aktan et al. (1996)

⁴ Perceber a motivação é essencial para responder a duas outras importantes perguntas: qual é o valor agregado da experimentação remota e como pode ser medido? O raciocínio é simples: se é possível medir (i) o ganho educacional obtido através da experimentação remota e (ii) o esforço para a criar ou a usar (distinguindo aqui as perspectivas fornecedor/cliente - uma questão a discutir mais tarde), então subtraindo-se os dois e comparando-se com o aspecto das motivações fornece uma ideia do valor agregado. Se o resultado não corresponde à expectativa inicial, então uma solução possível é a de olhar para a equação e tentar melhorar as condições ou termos da mesma, i.e. aumentar a valor educacional e/ou reduzir o esforço.

defendem terem sido os primeiros a disponibilizar, de forma interactiva e em tempo real, através da WWW, um laboratório dedicado ao controlo automático. É também neste artigo, largamente citado, que aparece a expressão “o-melhor-a-seguir-a-lá-estar” (*Second Best to Being There*, SBBT), que resume em breves palavras o sentimento generalizado em relação aos laboratórios remotos, por parte de alunos e professores.

A natureza multidisciplinar dos laboratórios remotos, o número de experiências necessárias para suportar uma dada disciplina ou curso, e a própria natureza colaborativa da Web, rapidamente impulsionaram a colaboração entre instituições, nesta área. Um dos primeiros exemplos, na área do ensino da engenharia electrónica, é precisamente descrito em Cobby et al. (1995). Este tipo de colaboração entre instituições de ensino rapidamente seguiu os dois tipos de aproximação descritos nos parágrafos anteriores, i.e. *bottom-up* e *top-down*, levando à passagem de experiências remotas isoladas a redes de laboratórios remotos, conforme constatável através dos exemplos do CyberLab (2005) e do MIT iLab (2005), impulsionados respectivamente por Tor Eikaas [Eikaas et al. (2002)] e Jesus del Alamo [Chang & Alamo (2002)]. Um estudo mais alargado sobre as redes de laboratórios remotos pode ser encontrado em Alves et al. (2007).

1.4 Utilização de laboratórios remotos no ensino da engenharia

A utilização dos laboratórios remotos no ensino da engenharia é já um dado adquirido, existindo um número alargado e crescente de casos reportados, que vão desde a engenharia electrotécnica até à engenharia química, e.g. Johnston et al. (2001). Assumidamente, conforme referem Ma & Nickerson (2006)⁵, o maior número de laboratórios remotos referidos na literatura cai na área das engenharias, sendo possível confirmar esta observação através de Gravier et al. (2008). Focalizando no âmbito nacional, é possível encontrar exemplos de laboratórios ou experiências remotas em quase todas as instituições de ensino superior portuguesas. Apresenta-se em seguida uma lista não exaustiva, cobrindo os principais distritos e instituições, apenas para efeitos ilustrativos:

- Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Laboratório para o desenvolvimento de circuitos digitais. Acessível⁶ através de <http://www.uninova.pt/~lugo/digitalab/>. Ver ainda Marques et al. (2008).
- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. e-labs. Acessível através de <http://elabs.fe.up.pt/> (ver nota de rodapé⁷).
- Instituto Superior Técnico. eLab. Acessível em <http://elab.ist.utl.pt/>

⁵ Este artigo efectua uma pesquisa bibliográfica, usando as palavras-chave “laboratório remoto ou experiência remota”, “laboratório virtual ou experiência virtual” e “laboratórios *hand-on* ou experiências *hand-on*”. A um conjunto inicial de cerca de 1000 artigos, é aplicada uma série de filtros, explicados pelos autores, que resulta, no final, numa lista de referências bibliográficas com mais de 150 entradas.

⁶ Este endereço poderá ser substituído por <http://www.dee.fct.unl.pt/digitalab>.

⁷ Usar credenciais de acesso como “*guest*”.

- Instituto Superior de Engenharia de Setúbal. Ver Pires et al. (2008)
- Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Ver <http://nautilus.fis.uc.pt/cec/teses/saralopes/docs/teseCompleta.pdf>
- Instituto Superior de Engenharia do Porto. Laboratório Remoto para Electrónica. Acessível em <https://moodleproj.isep.ipp.pt/>. Ver credenciais de acesso na secção 3.2, página 23.

2 Arquitecturas de Laboratórios Remotos

A arquitectura de um laboratório remoto visa, primeiramente, suportar a ligação entre o cliente e o conjunto de equipamentos e dispositivos que integram a experiência a conduzir. Embora essa arquitectura possa ser minimalista, tendo presente a situação de um único utilizador acedendo a um único equipamento, sem necessidade de retorno visual ou áudio, o cenário de trabalho associado a um laboratório tradicional, localizado no interior de uma dada instituição de ensino, onde necessariamente existe interacção entre alunos, docentes e equipamentos e objectos sob experimentação, levanta requisitos adicionais que obrigam a uma maior complexidade e flexibilidade da arquitectura de um laboratório remoto. A Figura 2 apresenta a arquitectura genérica de um laboratório remoto, que responde a um conjunto alargado de requisitos que serão apresentados na próxima secção.

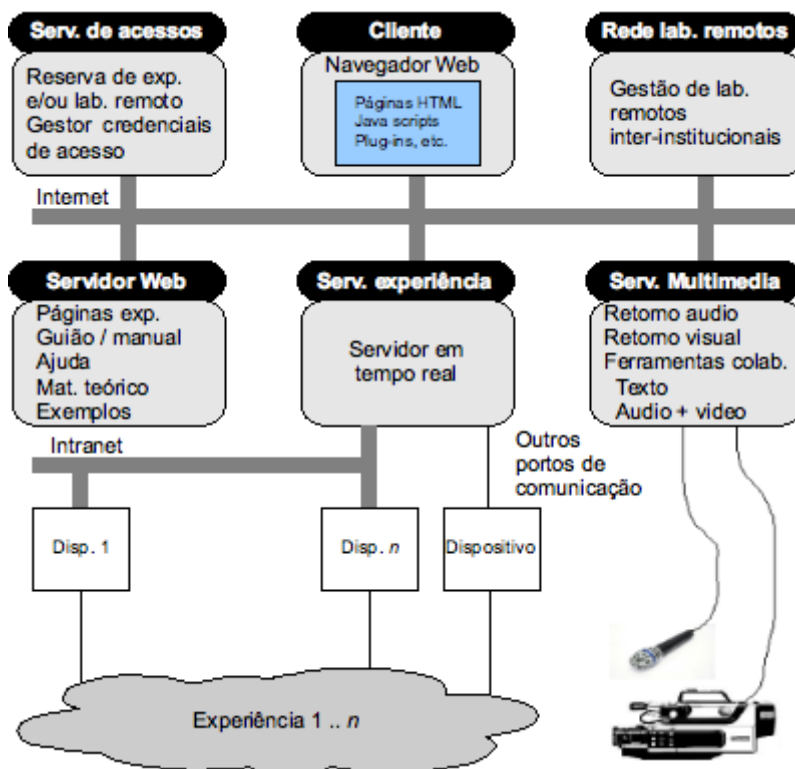


Figura 2: Arquitectura genérica de um laboratório remoto [Schmid (2000)].

2.1 Requisitos de arquitectura para laboratórios remotos

O conjunto global de requisitos associados a um laboratório remoto pode ser elaborado a partir da consideração da ligação entre o(s) utilizador(es) e os equipamentos/objectos da experiência, num contexto de ensino laboratorial. Tendo presente a Figura 2, identificam-se os seguinte requisitos:

- Ligação remota dos equipamentos e objectos sob experimentação. Este requisito implica a existência de algo que se costuma designar por *servidor da experiência*, responsável por permitir o controlo/observação, via Internet dos equipamentos e objectos sob experimentação. A ligação aos equipamentos pode ser baseada num qualquer tipo de barramento de instrumentação (GPIB, PXI, ou outro), ou ser do tipo ponto-a-ponto, e.g. USB. A utilização de cartas de aquisição de dados é também comum, nomeadamente quando se utilizam motores ou outros dispositivos de controlo para interagir directamente com o objecto ou aparato sob experimentação. Mesmo na situação em que os equipamentos possam ligar directamente à rede (e.g. LXI) é comum existir um servidor de experiência para suportar a geração de interfaces personalizadas, ou implementar mecanismos de protecção que evitem riscos de segurança para os equipamentos e/ou objectos.
- Visualização da experiência e ferramentas de trabalho colaborativo. Estes requisitos são normalmente suportados pelo *servidor multimédia*. As ferramentas de trabalho colaborativo podem ser embebidas na página que contém a interface de acesso à experiência remota, existindo um conjunto largo de opções no mercado, e.g. Flash Communication Server, ou então basearem-se em aplicações já existente nos clientes, e.g. Skype. Neste último caso, as aplicações terão de ser utilizadas fora do contexto da interface com a experiência remota. O retorno das acções efectuadas sobre a experiência remota provém geralmente de imagem vídeo em tempo real (em alguns casos, com som), vinda de dispositivos ligados a este servidor. Em alguns casos, o retorno visual é dado por câmaras ligadas directamente à Internet, i.e. câmaras IP (ou *Webcams*).
- Disponibilização da experiência e dos conteúdos pedagógicos de apoio. O acesso remoto à experiência, via Internet, implica a existência de um *servidor Web* dotado de um IP público. Este servidor é responsável por gerar a interface de acesso à experiência, que poderá ser diferente consoante o tipo de dispositivo de acesso ou preferências do utilizador. Em paralelo, é comum este servidor hospedar os vários recursos pedagógicos de suporte à realização e/ou avaliação da experiência, em particular: (i) o guião que indica os pontos de execução da experiência, i.e. o procedimento laboratorial remoto; (ii) os manuais dos equipamentos usados; (iii) tópicos de ajuda, nomeadamente de aspectos relacionados com as interfaces de acesso remoto; (iv) conceitos teóricos inerentes à execução da experiência ou à interpretação dos dados obtidos; (v) vídeos elucidativos do objecto sob experimentação; e, (vi) exemplos de experiências efectuadas.
- A nível institucional, é usual existir também um *servidor de acessos*, responsável pela gestão dos utilizadores remotos. Este servidor pode corresponder a um sistema de gestão de conteúdos de ensino/aprendizagem (*Learning Management System*, LMS), já em uso na instituição, e.g. Moodle, ou então ser independente, correspondendo assim a um sistema de verificação de credenciais de acesso, com mapa temporal associado, i.e. um sistema de reserva de períodos de tempo para acesso a um recurso remoto. É possível ainda que o sistema de reserva esteja

- associado ao Moodle [Ferreira & Cardoso (2005)]. Em determinadas situações, i.e. quando a experiência remota possui tempos de resposta muito inferiores ao tempo usual entre acções do utilizador, é possível que o laboratório remoto funcione em modo *batch*, i.e. sirva cada utilizador conforme a ordem de chegada ou de pedido. Nestas situações, o servidor de acessos pode actuar como intermediário, ordenando e gerindo os pedidos/envios de dados.
- Quando uma instituição partilhe um ou mais laboratórios remotos, numa lógica de funcionamento em rede que permita igualmente a utilização, pelos seus alunos e professores, de laboratórios remotos das instituições integrantes, é necessário a existência de um mecanismo que efectue a gestão dos recursos disponíveis num dado momento. Assim, supondo a situação de várias instituições possuírem, cada uma, um dado laboratório remoto, é possível a existência de um único sistema de reserva de acessos que faça o escalonamento do laboratório e/ou experiência a afectar a cada utilizador remoto.
 - Finalmente, a arquitectura deverá suportar a ligação de um ou vários utilizadores, em simultâneo, ao laboratório remoto, através de diferentes dispositivos, sistemas operativos e aplicações de navegação na rede. Refira-se, neste ponto, que a visão do cliente é tida como fundamental para o sucesso/insucesso de várias soluções arquitecturais (e.g. opção entre abordagens *thin/thick client*), dado que a maior latência das operações efectuadas nos laboratórios remotos, associado a uma certa dose de cepticismo, por comparação com os laboratório tradicionais e virtuais, leva a que alguns clientes optem por, pura e simplesmente, abandonar a experiência após um determinado intervalo temporal em que não haja reacção por parte do sistema remoto. Processos de instalação de software adicional (e.g. *plug-ins*) são também olhados com desconfiança por muitos utilizadores, pelo que não é de admirar que o requisito da universalidade surja naturalmente como o mais importante, de acordo com Zúbia et al. (2009b).

Existindo várias opções tecnológicas, quer em termos de hardware, quer em termos de software, para cada componente arquitectural, e diferentes opiniões⁸ quanto à seriação das características principais dos laboratórios remotos, resulta num panorama actual caracterizado pela existência de várias arquitecturas, ou, numa visão análoga, pela inexistência de uma arquitectura normalizada. Tendo presente este panorama, apresentam-se na secção seguinte alguns exemplos de arquitecturas de laboratórios remotos. A selecção apresentada resulta da aplicação de um conjunto de critérios, também discutidos em seguida, que basicamente visaram a procura de exemplos de laboratórios que suportassem experiências na área dos circuitos eléctricos e electrónicos, por forma a fazer a ponte de ligação para o capítulo seguinte, onde se apresentam em pormenor, duas

⁸ Entre a comunidade de peritos ligada ao desenvolvimento de laboratórios remotos, e.g. ver Zúbia et al. (2009b).

experiências efectuadas em outros tantos laboratórios remotos, já caracterizados do ponto de vista arquitectural.

2.2 Exemplos de arquitecturas de laboratórios remotos

Tendo-se já referido a existência de um número alargado de arquitecturas de laboratórios remotos, é importante esclarecer um pouco acerca da selecção que se apresenta de seguida. Em primeiro lugar, optou-se por considerar apenas laboratórios remotos que suportassem experiências na área da electrotecnia e electrónica, em particular no desenvolvimento e caracterização de circuitos eléctricos e electrónicos. Esta opção inicial permitiu desde logo relegar para segundo plano um vasto conjunto de laboratórios remotos que, apesar de significativos em termos de projecção científica e académica, e.g. Ko et al. (2004), Schaf & Pereira (2009), Restivo et al. (2009), Cooper & Ferreira (2009), entre outros, poderiam resultar menos relevantes do ponto de vista do enquadramento e objectivo desta lição. Do conjunto sobranter, é possível relevar alguns, utilizando por exemplo critérios como a exposição pública através de artigos publicados em revistas conceituadas na área. Ainda assim, a aplicação deste critério resulta numa lista extensa, e.g. Zúbia et al. (2005), Bagnasco et al. (2009), Asumadu et al. (2005), del Alamo (2003), Indrusiak et al. (2007), Nedic et al. (2003), Gustavsson et al. (2008), Sousa et al. (2009b), entre outros, não possível de apresentar em tempo útil. Aplicando um segundo critério de proximidade geográfica, que possa de alguma forma diminuir os riscos de uma maior latência na condução de uma dada experiência (relevante do ponto de vista do capítulo 3), resulta uma selecção que contempla apenas laboratórios remotos oferecidos por instituições nacionais e europeias⁹. Da lista anterior, apresenta-se em pormenor a arquitectura de três laboratórios remotos, que constitui um conjunto com uma dimensão considerada apropriada para a duração temporal da presente lição.

2.2.1 WebLab-Deusto

O laboratório remoto da Universidade de Deusto (Espanha), denominado WebLab-Deusto, é um bom exemplo de desenvolvimento arquitectural motivado não só pelos problemas detectados nas versões iniciais como também pela utilização de novas ferramentas de software e de soluções de hardware, dedicadas para a Web, que têm vindo a surgir ao longo da última década. A Figura 3, retirada de Zúbia et al. (2005), ilustra claramente a evolução da arquitectura do WebLab-Deusto, desde 2001. Conforme indicado em Zúbia et al. (2005), a arquitectura sofreu as seguintes quatro iterações:

⁹ Retirando-se assim os laboratórios hospedados em instituições da América (Norte e Sul), Ásia, e Oceânia (em particular, na Austrália). Note-se porém que este critério pode resultar erróneo, do ponto de vista do objectivo pretendido (menor latência), em função das características da rede interna da instituição que suporta o laboratório remoto.

- Solução proprietária baseada em *sockets* e *applets*.
- Solução baseada em ferramentas e serviço para a *Web*.
- Solução baseada em ferramentas e serviços para a *Web*, seguindo técnicas de desenvolvimento do tipo AJAX.
- Solução baseada na utilização de micro-servidores *web* e técnicas de desenvolvimento do tipo AJAX.

	0.1	1.0	2.0	3.0	3.5
Device Server Client Proportion					
Connection with devices	RS-232 	SERVER USB 		SERVER Network 	
Client side technology				JavaScript	
Server side technology					
Protocol	proprietary		SOAP		SOAP, JSON or XML-RPC
Does it use HTTP for transport?	No		Yes		Optional
Data encryption	-				

Figura 3: Evolução da arquitectura do WebLab-Deusto [Zúbia et al. (2005)].

A primeira iteração resultou claramente de uma solução baseada nas capacidades de um programador preocupado em estabelecer uma ligação entre cliente-servidor, permitindo a um cliente remoto: (i) carregar um dado ficheiro de programação (de uma CPLD localizada no laboratório remoto), com um circuito digital desenvolvido de acordo com um dado guião laboratorial; (ii) modificar o estado de algumas das entradas da CPLD; e, (iii) observar os resultados através de uma câmara Web. Esta solução permitia apenas a ligação de um único utilizador a um único dispositivo remoto, possuindo ainda várias desvantagens:

- Cliente e servidor requeriam máquinas com a plataforma Windows;
- A interface de acesso era baseada numa linha de comandos;

- A interligação cliente-servidor requeria a abertura de portos de comunicação não-usuais, i.e. diferentes do porto 80 (destinado a tráfego HTTP), levantando problemas de segurança, nomeadamente ao nível da *firewall* da instituição.

A segunda iteração baseou-se em Java, requerendo apenas, do lado do cliente, um *plug-in*, usualmente pré-instalado. As desvantagens desta solução, notaram-se principalmente ao nível: (i) do tempo inicial de acesso, necessário para transferir as *applets* do servidor para a máquina do cliente; (ii) da segurança, nomeadamente na máquina do cliente, onde a *applet* provocava um alerta, sempre que necessitava de aceder ao sistema de ficheiros do cliente para seleccionar o ficheiro a enviar, com o código de programação da CPLD, e, ainda, ao nível da *firewall* da instituição, devido à necessidade de abertura de dois portos de comunicação não usuais. Esta iteração permitiu porém a extensão do acesso a partir do exterior da instituição, através de um simples navegador de rede.

A terceira iteração, ainda em utilização, permitiu estabelecer a comunicação cliente-servidor, com base apenas em tráfego tipo HTTP, eliminando-se assim os problemas associados à necessidade de um *plug-in* pré-instalado, bem como os relativos à *firewall*. Finalmente, a quarta iteração focaliza-se principalmente ao nível do suporte de *n* experiências remotas, em simultâneo, utilizando uma arquitectura baseada em micro-servidores *web*, e mantendo as características principais da iteração anterior em relação à segurança e à universalidade de acesso. A Figura 4, retirada de Zúbia et al. (2009a), ilustra a estrutura de servidores associada a esta quarta iteração, já em fase de disponibilização.

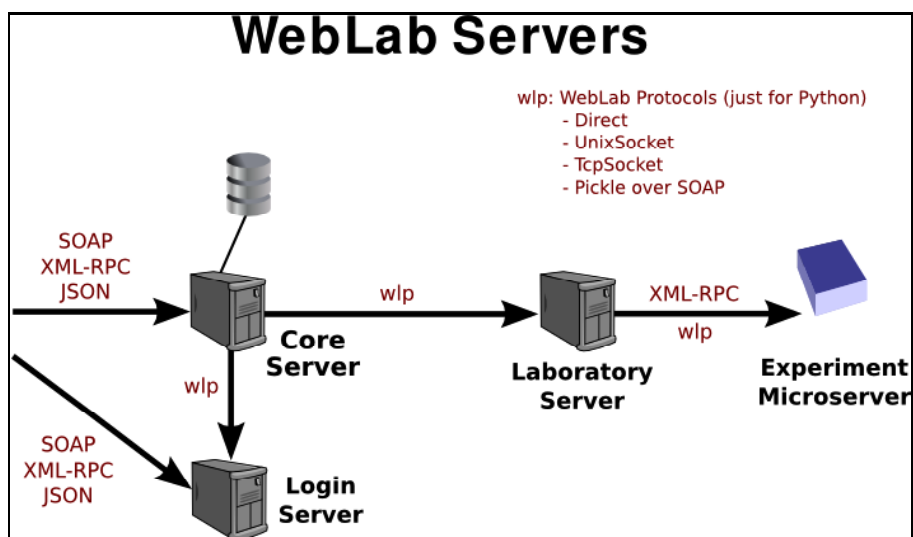


Figura 4: Número e tipo de servidores usados no WebLab-Deusto [Zúbia et al. (2009a)].

2.2.2 VISIR

O laboratório remoto ilustrado na Figura 5, denominado VISIR, permite emular um laboratório real para aulas de electrónica, tipicamente existente em qualquer instituição

ligada ao ensino da engenharia electrotécnica. A sua arquitectura baseia-se um único servidor de experiência, ligado a um sistema PXI da National Instruments, equipado com: (i) um controlador (NI PXI-8176); (ii) uma carta de entradas/saídas digitais (NI PXI-6508), que controla uma matriz de comutação composta por um conjunto de cartas de circuito impresso empilháveis, que, por sua vez, permite a interligação de componentes, numa qualquer configuração, num circuito com até dezasseis nós, e a ligação de instrumentos de teste e medição (i.e. fonte de tensão, multímetro, gerador de sinal, e osciloscópio) a, virtualmente, qualquer um desses nós; (iii) um multímetro (NI PXI-4060); (iv) um gerador de funções (NI PXI-5401); e (v) um osciloscópio (NI PXI-5112). Uma tripla fonte de tensão contínua (Agilent 3136A) encontra-se ainda ligada ao servidor através de um barramento tipo GPIB. Uma característica interessante do VISIR reside no facto das interfaces dos instrumentos de teste e medição serem imagens dos painéis frontais dos equipamentos existentes no laboratório de electrónica do Instituto Tecnológico de Blekinge, (*Blekinge Tekniska Högskola*, BTH), Suécia. Adicionalmente, existe uma interface, representando uma placa virtual de montagem de circuitos (i.e. *breadboard*), através da qual os alunos podem ligar componentes entre si e, posteriormente, ligar aos instrumentos de teste e medição, para executar uma dada experiência remota. Neste ponto refira-se que, num dado instante, apenas estarão disponíveis “para montagem”, os componentes que tiverem sido previamente colocados nos terminais das cartas da matriz de configuração. A partir do momento que os alunos pressionam o botão de “Submeter circuito”, a configuração actual é enviada para o servidor, onde um algoritmo de reconhecimento de padrões produz uma descrição do circuito montado num formato similar ao PSpice, existindo outra aplicação que verifica se o circuito é seguro, do ponto de vista eléctrico, i.e. se não existem curto-circuitos, polaridades trocadas, etc.



Figura 5: VISIR - laboratório remoto do BTH [Gustavsson et al. (2008)].

A Figura 6 ilustra a correspondência entre as interfaces e os equipamentos localizados no laboratório remoto, evidenciando em simultâneo a existência de um único servidor. A ligação aos instrumentos corresponde assim a uma ligação entre o servidor e o sistema

PXI, existindo ainda a já mencionada ligação GPIB. Adicionalmente, numa evolução da arquitectura inicial, é agora suportada a ligação de instrumentos tipo LXI. Refira-se ainda que o VISIR utiliza instrumentos que suportam a especificação IVI, para aumentar a facilidade de expansão do sistema inicial, nomeadamente através de uma arquitectura tipo *grid*. Esta possibilidade, descrita em Gustavsson et al. (2008), corresponde à criação de uma rede de laboratórios remotos, com cada nó a seguir uma implementação semelhante à ilustrada na Figura 5, sendo que cada instituição tem a possibilidade de criar as suas próprias interfaces, para os instrumentos de teste e medição, seguindo imagens dos painéis frontais desses mesmos instrumentos. Em termos funcionais, o servidor recebe a descrição de um dado circuito, implementa-o através da matriz de comutação, aplica os estímulos de entrada especificados, e, finalmente, recolhe os resultados, enviando-os para o máquina do cliente remoto. O processo demora uma fracção de segundo, permitindo servir até um máximo de 8 utilizadores em simultâneo, o que equivale a uma espécie de “multiplexagem” no tempo do laboratório remoto.

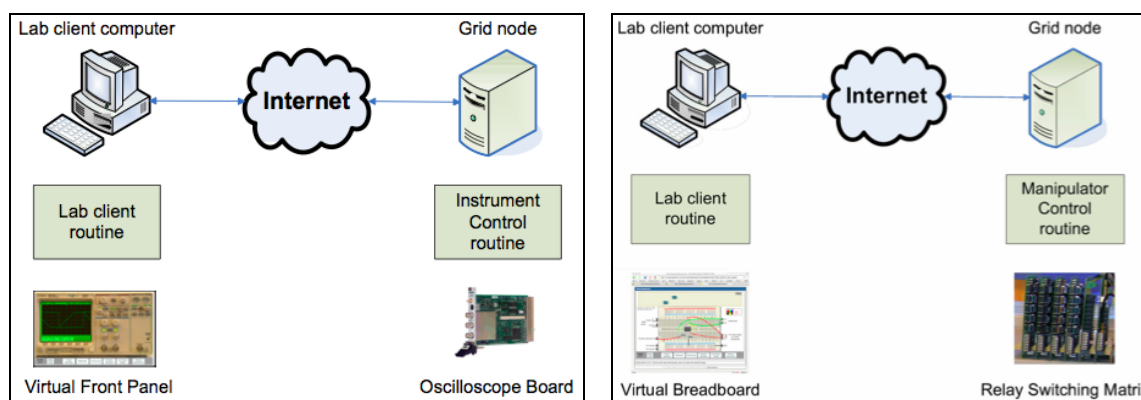


Figura 6: Ligação entre as interfaces do osciloscópio e da placa de montagem virtual e os respectivos equipamentos remotos [Gustavsson et al. (2008)].

Da descrição efectuada é evidente um conjunto de vantagens inerentes à arquitectura do VISIR. As seguintes desvantagens são porém apontáveis:

- Custo elevado do laboratório, em particular do sistema PXI e de cada uma das cartas, por comparação com instrumentos de bancada similares, também com possibilidade de controlo/observação remota.
- Necessidade dos alunos repetirem a fase de montagem do circuito, o que poderá diminuir a capacidade de concentração em abordagens complementares em que se pretenda que os alunos testem procedimentos do tipo “se mudar este componente, o que acontecerá à corrente/tensão no ramo/nó x ?”.
- O número de combinações possíveis numa matriz quadrada cresce exponencialmente em função do número de componentes e/ou instrumentos, o que dificulta ou inviabiliza o suporte de circuitos de média dimensão/complexidade.

2.2.3 RemotElectLab

O laboratório remoto desenvolvido pelo ISEP, denominado RemotElectLab (abreviatura da expressão “*Remote Electronics Laboratory*”), é caracterizado por uma arquitectura baseada numa solução comercial, da National Instruments (NI). Fisicamente, é constituído por uma estação de desenvolvimento de circuitos eléctricos e electrónicos, denominada *Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite* (ELVIS), ligada a uma carta de expansão instalada num PC, que executa a aplicação LabView. Neste mesmo PC está instalado o servidor LabView que gera e suporta as versões controláveis/observáveis remotamente dos instrumentos virtuais (*Virtual Instruments*, VIs) que estabelecem o interface entre o cliente e a experiência remota, e que permitem: (i) apresentar um conjunto de leituras de tensão e corrente, efectuadas no circuito sob experimentação; (ii) controlar o gerador de funções e a fonte de tensão programável da estação NI-ELVIS; (iii) configurar e visualizar os dois canais do osciloscópio, também disponibilizado pela estação; e, finalmente, (iv) controlar um conjunto de módulos de comutação que permitem alterar a configuração do circuito sob experimentação. Módulos semelhantes são utilizados para efectuar a leitura sequencial de tensões e correntes, num processo transparente para o utilizador, controlado através de outros VIs. A interface para a experiência remota é invocado a partir de uma página, hospedada num servidor Moodle do ISEP, através de um endereço único com uma validade de 30 minutos, após a última acção efectuada pelo utilizador remoto. Este endereço é gerado através de um módulo PHP (acrescentado ao sistema Moodle), a partir do número de aluno e do IP público do servidor LabView. Vários clientes podem aceder em simultâneo, sendo geradas tantas páginas quantos os clientes, existindo um processo de escalonamento, gerido pelo LabView, que implementa a configuração do circuito para o utilizador 1, efectua o conjunto de medições no circuito, retorna os resultados para o interface do mesmo utilizador, e avança para o utilizador seguinte, efectuando os mesmos procedimentos, ciclicamente, até retornar ao primeiro utilizador servido. A Figura 7 ilustra a arquitectura do RemotElectLab, que compreende os dois servidores já referidos.

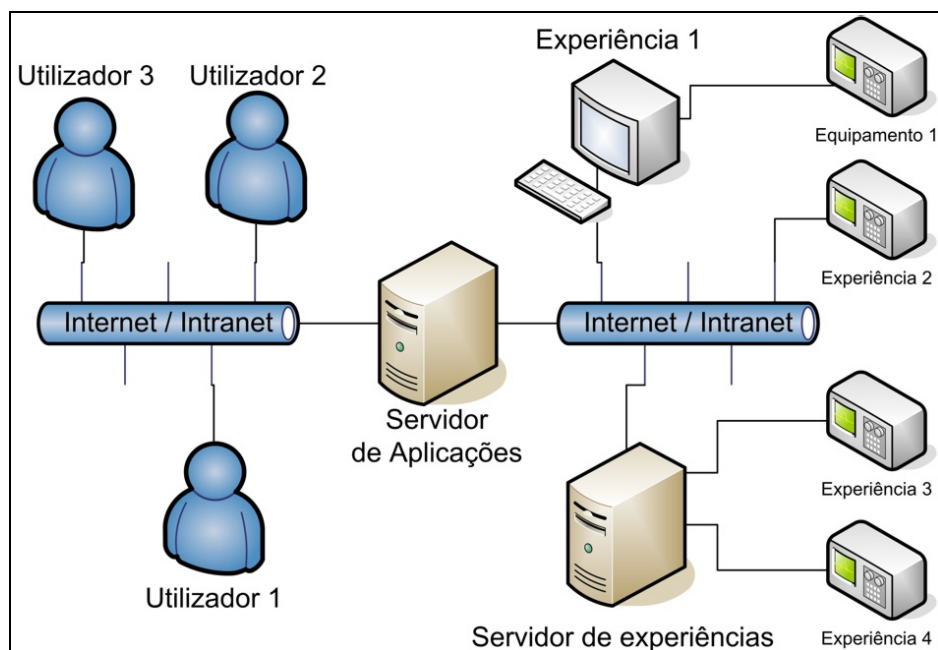


Figura 7: Arquitectura do RemotElectLab, com dois servidores [Sousa (2008)].

A versão do LabView, disponível aquando do desenvolvimento do laboratório remoto, implica a necessidade de instalar um *plug-in* no lado do cliente, unicamente no primeiro acesso, que varia de acordo com sistema operativo da máquina do cliente. O primeiro acesso resulta assim num tempo acrescido, para este processo de instalação, sendo ainda de referir o tempo não desprezível associado à transferência do painel remoto do VI, que ocorre sempre que o cliente acede a uma nova experiência.

2.3 Síntese e breve análise comparativa

Às três arquitecturas apresentadas em maior pormenor poder-se-ia aplicar um conjunto de critérios de análise que permitissem aferir da maior ou menor adequabilidade de cada uma, em relação a este ou aquele critério. Afectando cada critério de um peso específico, poder-se-ia, no final, obter uma classificação de cada laboratório. Esta é porém uma questão complexa, dada a dificuldade em definir-se, objectivamente, um peso para cada característica. Refira-se no entanto que, apesar de complexa, esta questão foi já objecto de estudo, tendo os resultados sido publicados em Zúbia et al. (2009b).

A terminar esta secção refira-se que uma comparação entre aspectos da arquitectura do VISIR e do RemotElectLab foi já efectuada e apresentada em maior pormenor em Sousa et al. (2009b), nomeadamente ao nível da implementação da estrutura de configuração do circuito sob experimentação e da(s) interface(s) de acesso ao laboratório remoto.

3 Casos de aplicação em Engenharia Electrotécnica

No âmbito da presente lição, apresentam-se dois breves casos de aplicação de laboratórios remotos no apoio a aulas de electricidade e electrónica, nomeadamente: (i) análise de um circuito RC passa-alto e (ii) análise de um circuito baseado num amplificador operacional, e.g. uma fonte de tensão contínua com compensação do efeito de carga¹⁰ e protecção em corrente. O primeiro caso de aplicação será apresentado na secção 3.1, tendo por base a utilização do laboratório remoto descrito na subsecção 2.2.2, i.e. o VISIR, e o segundo caso será apresentado na secção 3.2, tendo por base o laboratório remoto descrito na subsecção 2.2.3, i.e. o RemotElectLab.

3.1 VISIR: circuitos eléctricos e electrónicos básicos

A análise de um circuito RC passa-alto corresponde a uma tarefa laboratorial, dir-se-ia que incontornável, de qualquer curso de engenharia electrotécnica. Sendo apenas necessários um condensador e uma resistência, em termos de componentes, e um gerador de funções e um osciloscópio, em termos de instrumentos de teste e medição, facilmente se pode experimentar e simular o comportamento deste tipo de circuito. Em termos de análise teórica, é usual caracterizar-se a frequência de corte (f_c) dada pela expressão:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Sendo a resposta facilmente caracterizável, e não sendo necessária alimentação em tensão contínua (que implicaria mais um instrumento), é usual utilizar-se este circuito (ou de um filtro passa-baixo) para exemplificar o modo de funcionamento do gerador de função e do osciloscópio, em particular para medição do desfasamento entre duas ondas. Para o presente exemplo iremos utilizar um condensador de 56 nF e uma resistência de 10 k Ω , o que dará uma frequência de corte de aproximadamente 284 Hz. Estes dois componentes estão disponíveis para experiência no VISIR, na situação em que se acede em modo de “Guest”, a partir do endereço (parte inferior da página):

<http://openlabs.bth.se/electronics/index.php?page=DemoPage#>

A Figura 8 ilustra o circuito já montado, com um dos terminais do condensador ligado à saída activa do gerador de funções (fio vermelho), o outro terminal ligado a um dos

¹⁰ Este circuito corresponde ao trabalho prático número 2 da disciplina de Electrónica II, da LEEC – ISEP, leccionada em 2007/08, sob a regência do Doutor Manuel Gradim de Oliveira Gericota (mgg@isep.ipp.pt). Os elementos de apoio utilizados em seguida, i.e. guião laboratorial, página Moodle, etc., são da autoria daquele docente, a quem se agradece a gentil cedência para efeitos desta lição.

terminais da resistência, e, finalmente o outro terminal da resistência ligado à saída GND do gerador de funções (fio preto), fechando assim o circuito. O canal 1 do osciloscópio encontra-se ligado à saída activa do gerador de funções (fio azul) e o canal 2 ao ponto de ligação entre o condensador e a resistência (fio verde), permitindo assim visualizar as formas de onda à entrada do circuito e aos terminais da resistência (saída do circuito), respectivamente.

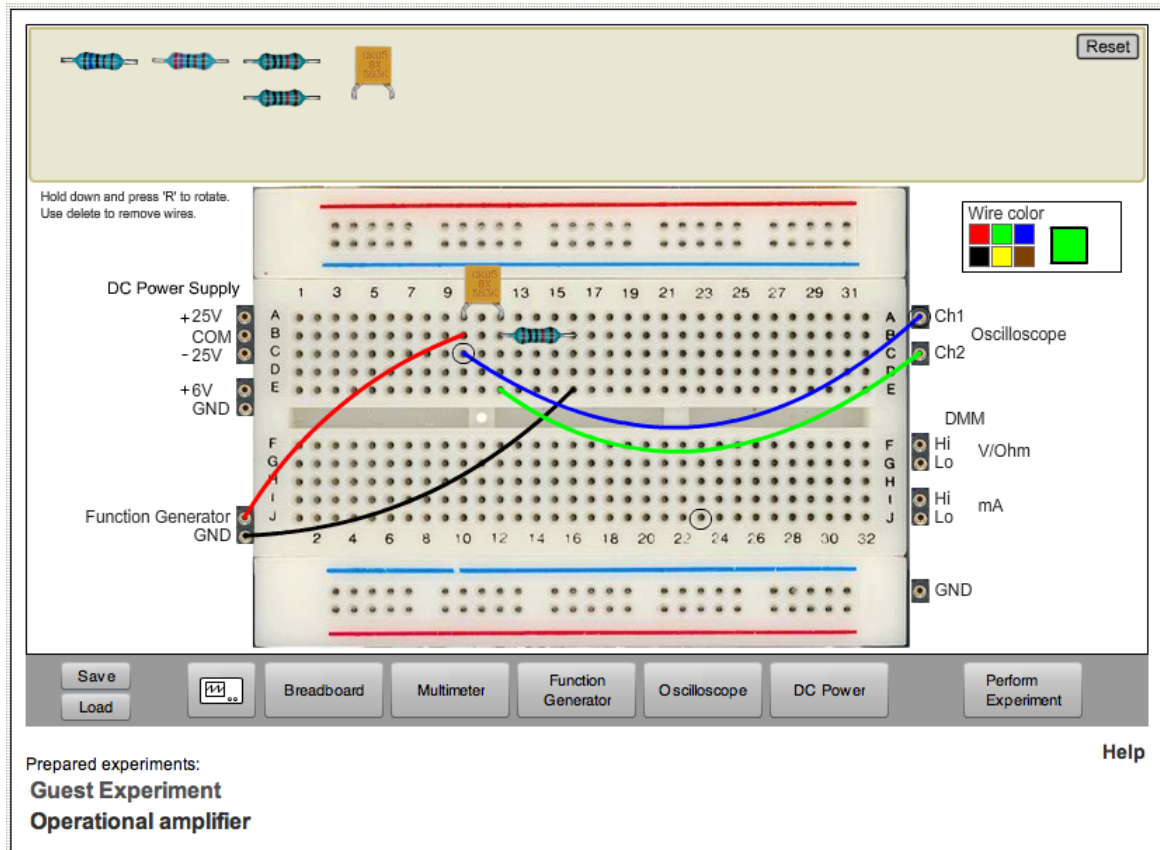


Figura 8: Imagem da placa de montagem com um circuito RC tipo passa-alto.

Seleccionando o botão “gerador de funções”, surge a interface ilustrada na Figura 9, onde iremos escolher uma onda quadrada, com uma frequência de 100 Hz e um valor de pico de 5 V (ver Figura 10). O resultado destas opções, em termos de funcionamento do circuito, pode ser observado na Figura 11, que ilustra as formas de onda visualizadas no osciloscópio, sendo necessário algum cuidado na correcta selecção dos valores para a base de tempo e amplificadores dos canais de entrada.

Em termos de simulação podemos optar por uma aplicação Java disponível em <http://www.falstad.com/circuit/>. É possível importar a descrição de um circuito através dos comandos “File” -> “Import”, que abre uma janela para onde se faz simplesmente *copy&paste* do texto disponível em anexo. O resultado para simulação, ilustrado na Figura 12, pode ser comparado com o resultado visualizado no osciloscópio, e igualmente interpretado à luz dos conceitos teóricos associados.

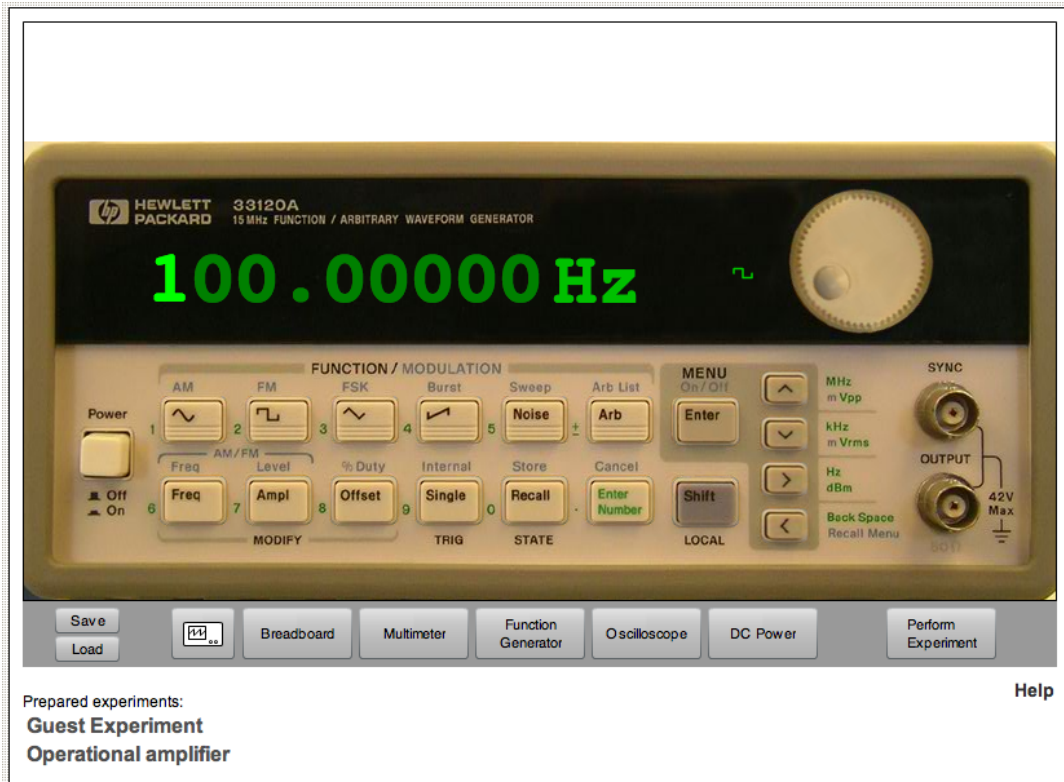


Figura 9: Gerador de funções com uma onda quadrada de 100 Hz, seleccionada.

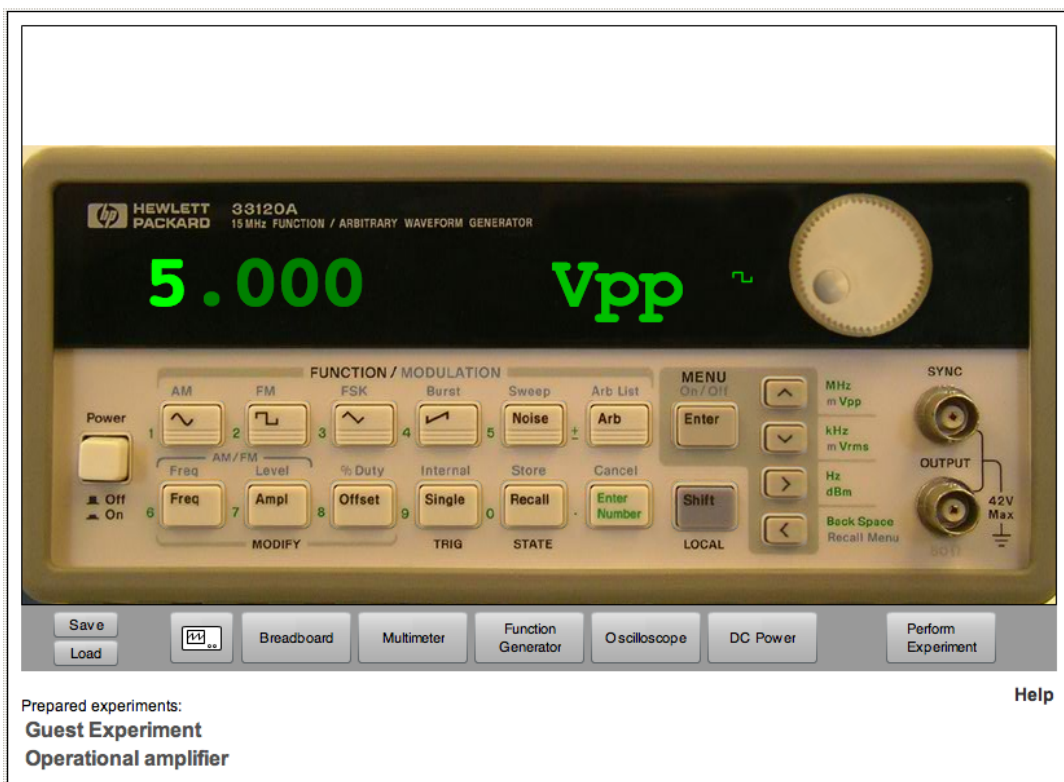


Figura 10: Gerador de funções com uma onda quadrada, amplitude de 5 V, seleccionada.

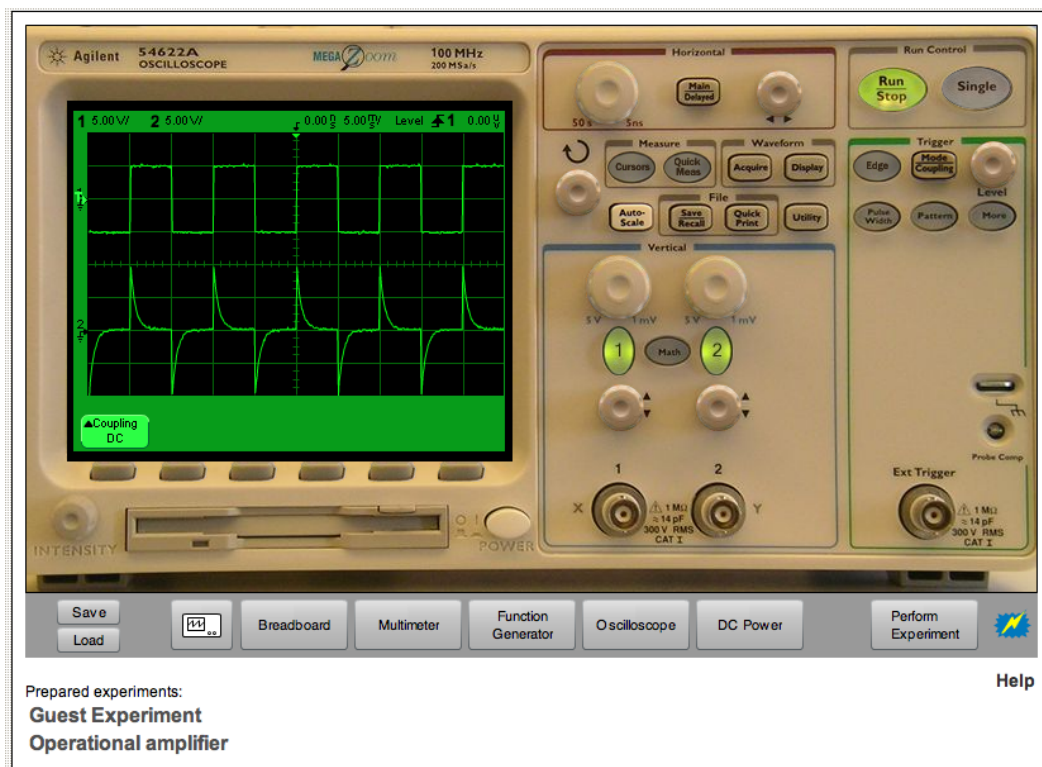


Figura 11: Osciloscópio mostrando as formas de onda aos terminais do gerador de funções (canal 1) e da resistência (canal 2).

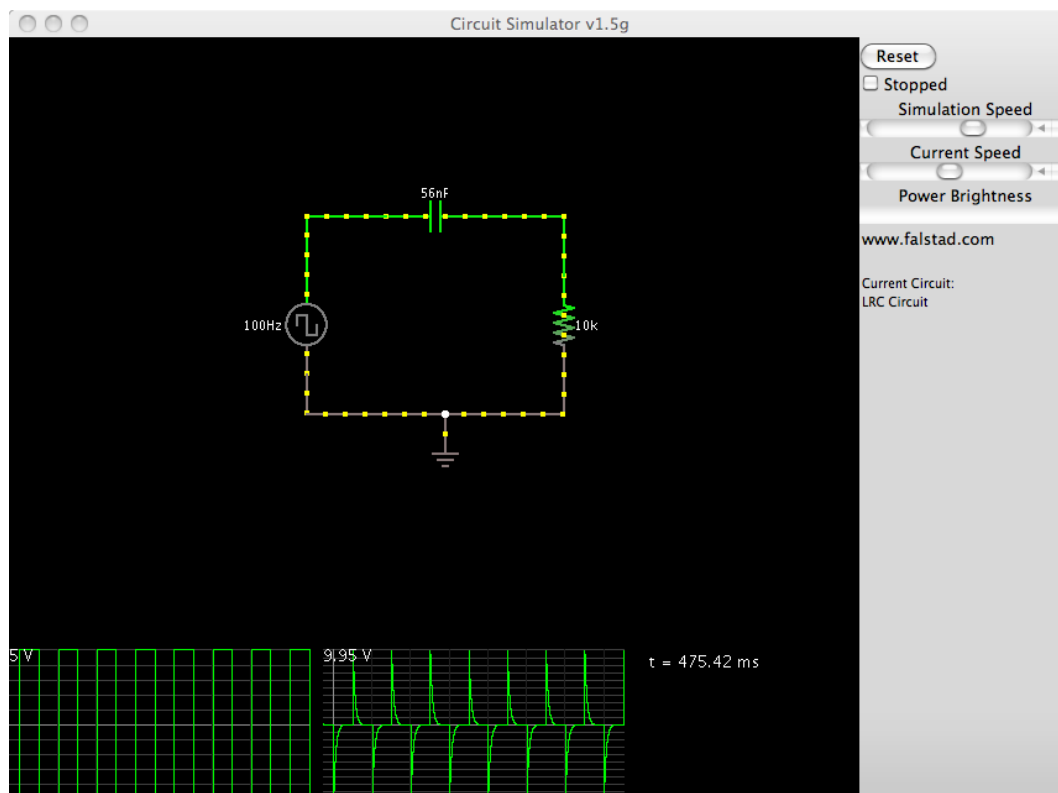


Figura 12: Resultado da simulação do circuito RC passa-alto.

3.2 RemoteElectLab: circuitos electrónicos complexos

O estudo dos circuitos mais simples baseados num amplificador operacional é usualmente efectuado em disciplinas de introdução à electrónica. Montagens mais complexas com base neste componente são geralmente objecto de análise em disciplinas mais avançadas, como por exemplo o circuito de uma fonte de tensão contínua com compensação do efeito de carga e protecção da saída em corrente. O guião que descreve a experiência laboratorial encontra-se disponível a partir da página Moodle que dá acesso ao laboratório remoto.

<https://moodleproj.isep.ipp.pt/>

Credenciais de acesso:

Nome de utilizador: guest_lab1

Palavra chave: guest_lab1

Seleccionar curso “Electronic Remote Laboratory”, na janela denominada “As minhas disciplinas”

Seleccionar ficheiro “Lab assignment”

Da leitura do guião (em anexo) se constata que aos alunos é pedida a análise, simulação e experimentação do circuito. Numa sequência invertida, efectuar-se-ão os seguintes passos:

- i. experimentar o circuito, no laboratório remoto, extraíndo os valores das tensões e correntes nos pontos/ramos pedidos;
- ii. descrever o circuito no ambiente de simulação remoto e extrair novamente os valores das tensões e correntes;
- iii. comparar os valores experimentais com os valores simulados;
- iv. analisar o circuito.

A Figura 13 representa o diagrama esquemático do circuito sob experimentação remota, onde se identificam quatro comutadores que permitem seleccionar entre:

- Tensão de entrada a 15 V ou 12 V, através das posições ❶ e ❷ do comutador identificado com a etiqueta “Addr. 6 1/2”, respectivamente.
- Ligação directa ou via circuito de protecção em corrente, através das posições ❶ e ❷ do comutador identificado com a etiqueta “Addr. 6 2/2”.
- Resistência R_S igual a 940 Ω ou 1547 Ω , através das posições ❶ e ❷, do comutador identificado com a etiqueta “Addr. 8 1/2”, respectivamente.
- Resistência R_C igual a 1k Ω ou 270 Ω , através das posições ❶ e ❷ do comutador identificado com a etiqueta “Addr. 8 2/2”, respectivamente.

A Figura 14 (topo) ilustra o resultado das medições em tensão e corrente nos pontos/ramos identificados na Figura 13, na situação em que todos os comutadores se encontram na posição ❶ (ver canto inferior esquerdo da Figura 14).

- $V_1 = 15.27$ V $V_2 = 5.00$ V $V_3 = 5.00$ V $V_4 = -0.15$ V $V_5 = 9.71$ V
- $A_1 = 36.43$ mA $A_2 = 21.24$ mA $A_3 = 4.63$ mA $A_4 = 9.35$ mA

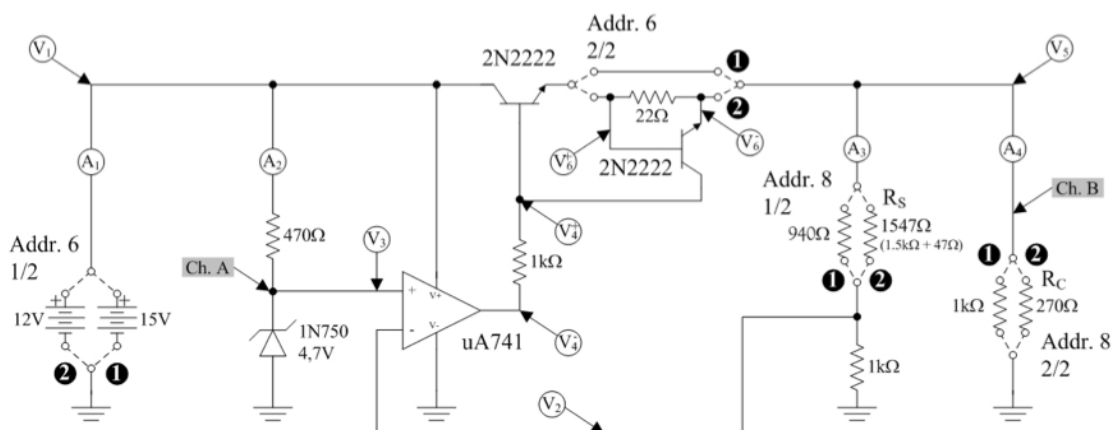


Figura 13: Diagrama esquemático do circuito sob experimentação [Gericota (2008)].

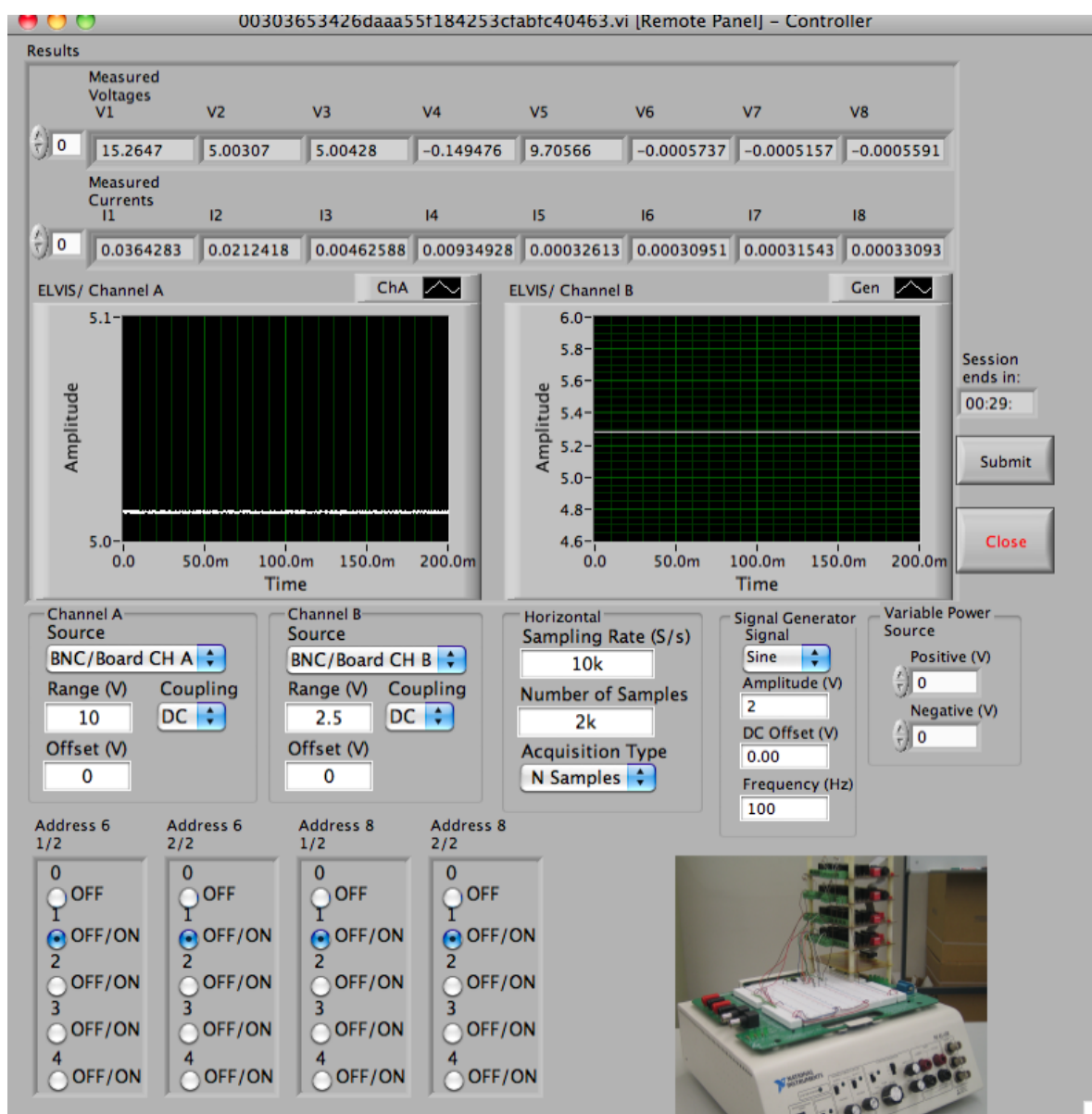


Figura 14: Imagem do painel remoto (configuração 1), após leitura de tensões e correntes.

A Figura 15 e a Figura 16 ilustram o resultado da simulação do circuito, com detalhe dos pontos de funcionamento do diódo de *zener* e da resistência de carga (R_C) – ver canto inferior direito das imagens –, respectivamente, na situação indicada (comutadores na posição ❶).

Aplicando os conhecimentos teóricos adquiridos numa unidade curricular de Análise de Circuitos (em paralelo com o conhecimento do funcionamento de um amplificador ideal) chega-se aos resultados analíticos que deverão ser comparados com os obtidos em simulação e em experimentação remota.

Focalizando no diódo de *zener*, verifica-se que os valores de tensão (aos terminais) e de corrente (de passagem), medidos no laboratório remoto e obtidos na simulação são, respectivamente:

Laboratório remoto:

$$V_3 \text{ (ver Figura 13 e Figura 14)} = 5.00 \text{ V}$$

$$A_2 \text{ (ver Figura 13 e Figura 14)} = 21.24 \text{ mA}$$

Simulação:

$$V_d \text{ (ver Figura 15)} = 4.8 \text{ V}$$

$$I_d \text{ (ver Figura 15)} = 21.71 \text{ mA}$$

Os valores obtidos são aproximadamente iguais, notando-se no caso dos valores medidos no laboratório remoto a influência da resistência interna do amperímetro, que provoca uma menor corrente ($21.24 \text{ mA} < 21.71 \text{ mA}$) e as características não ideais do diódo de *zener* ($V_z > 4.7 \text{ V}$, mais a influência da resistência de passagem, para uma corrente de 21 mA). A análise teórica permite obter a seguinte equação (considerando características ideais para o diódo de *zener* e amplificador operacional¹¹) para a malha constituída pela fonte de tensão de entrada, resistência de 470Ω e diódo de *zener*:

$$E = 470 \cdot I_D + V_D \Leftrightarrow I_D = \frac{E - V_D}{470} = \frac{15 - 4.7}{470} = 21.91 \text{ mA}$$

que, resolvendo, retorna um valor em corrente no diódo próximo do medido e do obtido por simulação.

¹¹ Note-se porém a diferença entre V_2 e V_3 , que deveria ser igual a 0 V .

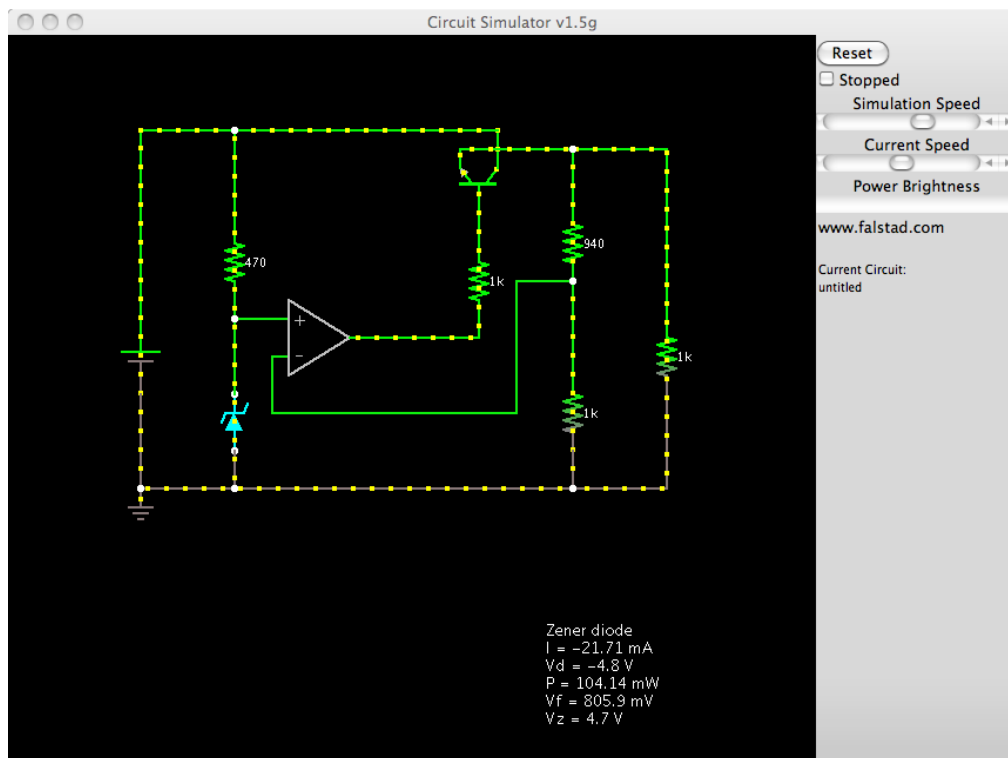


Figura 15: Resultado da simulação, com indicação do ponto de funcionamento do díodo de zener (componente a azul).

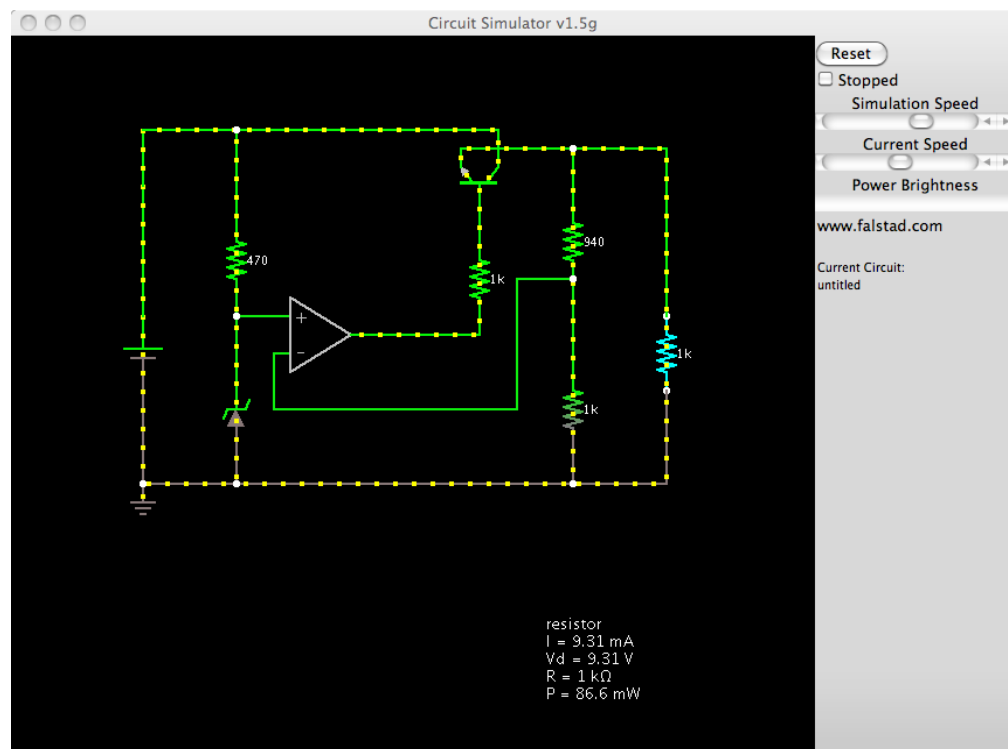


Figura 16: Resultado da simulação, com indicação do ponto de funcionamento da resistência de carga R_C (componente a azul).

4 Conclusão e direcções futuras

Os dois laboratórios remotos apresentados em maior detalhe endereçam objectivos educacionais não totalmente coincidentes, conforme se pôde depreender dos casos de utilização demonstrados. No VISIR é clara a preocupação com a replicação do ambiente encontrado num laboratório tradicional, visível não só pela parte inicial de montagem do circuito, usando uma *breadboard* virtual, como também pelo pormenor de replicar os painéis frontais dos instrumentos de teste e medição, em uso nos laboratórios de electrónica do BTH. O desenvolvimento do RemotElectLab seguiu uma lógica diferente, tendo-se procurado uma interface que fosse o mais universal possível, independente do circuito sob experimentação. É através do diagrama esquemático apresentado no guião e da associação entre o número de ordem da leitura de tensão e corrente e dos identificadores dos elementos de comutação da matriz com os símbolos inseridos naquele diagrama que os alunos percebem quais os resultados obtidos. Assume-se principalmente que os alunos já obtiveram confiança no funcionamento do circuito, seja por análise teórica, simulação ou pela oportunidade de já o terem observado no laboratório real, sendo o laboratório remoto uma espécie de segunda oportunidade para visitar o trabalho, verificar dados para escrita do relatório, tentar algumas novas questões de análise, etc. Numa palavra, privilegiaram-se os objectivos educacionais 2, 4, e 6 que constam da lista em anexo.

Em termos de utilização, deve-se referir que o RemotElectLab não tem cumprido a função para o qual foi originalmente idealizado, i.e. o apoio a aulas práticas laboratoriais da unidade curricular (UC) de Electrónica II, da LEEC, no ISEP. Tendo sido dado como concluído em Agosto de 2008, e sendo Electrónica II uma UC do 1º semestre (2º ano), pensou-se que poderia ser utilizada no ano lectivo de 2008/09. Acontece porém que a regência desta mesma UC foi alterada, deixando o Doutor Manuel Gradim de Oliveira Gericota de a exercer, o que se traduziu por ligeiras alterações no formato de leccionação, que levaram à não utilização do RemotElectLab. Realce-se porém a utilização deste laboratório remoto a nível internacional. Para além da demonstração efectuada nas Jornadas Luso-Brasileiras em Engenharia, que decorreram no ISEP, i.e. Sousa et al. (2009a); da demonstração efectuada na *International Conference on e-Learning in Industrial Electronics (ICELIE'2009)*, que decorreu na Alfândega do Porto, de 3 a 5 de Novembro de 2009, e que implicou a deslocação do RemotElectLab para aquele edifício, e a sua ligação via VPN, para o seu local de permanência habitual (instalações do CIETI-LABORIS, no ISEP); é de destacar ainda a utilização em sede da Escola de Verão em Engenharia Remota que se realizou em Villach, de 5 a 17 de Julho de 2009. Esta oportunidade permitiu identificar algumas limitações do RemotElectLab, em particular da incapacidade do PC onde se encontra instalado o servidor LabView em lidar com um maior número de pedidos de acesso, em simultâneo. Esta limitação será brevemente endereçada sob três ângulos: (i) utilização de um PC com melhores características; (ii) a migração dos VIs para a nova versão do LabView, que já não requer a instalação de um

plug-in do lado do cliente; e, (iii) a utilização da nova NI-ELVIS, através de duas unidades gentilmente cedidas pelo actual regente da UC de Electrónica II, Doutor António Avelino Amorim Marques.

A terminar, refira-se que a utilização de laboratórios remotos como complemento dos laboratórios reais e virtuais, usados no ensino, ao nível da pré-graduação, em engenharia é uma realidade incontornável. Apesar dos muitos exemplos encontrados na literatura, é também constatável que os laboratórios remotos estão longe de ser uma tecnologia educativa madura, com metodologias de utilização testadas e validades com diferentes estilos de aprendizagem, enquadramentos académicos, e ambientes de trabalho, entre outras variáveis. A sua passagem a este nível não dependerá certamente da vontade isolada de alguns docentes mais entusiastas, mas antes de uma abordagem global que envolva necessariamente os vários elementos activos das instituições de ensino superior, conforme defendido em Hine et al. (2007). Em termos de soluções de implementação, ao nível da arquitectura, são também vários os exemplos reportados, sendo defendido por vários agentes a necessidade de uma arquitectura normalizada que suporte uma maior colaboração entre as instituições de ensino superior no seu desenvolvimento, partilha e manutenção. Refira-se também a existência de uma preocupação com o custo dos laboratórios remotos, havendo já soluções propostas nesse sentido, e.g. Costa et al. (2009); a possibilidade de integrar na mesma interface o resultado de simulações e de valores obtidos através de experimentação remota, nomeadamente em ambientes imersivos 3D, e.g. Scheucher et al. (2009); e ainda a oferta de conjuntos completos de experiências remotas que cubram as necessidades de um curso inteiro de pré-graduação em engenharia, e.g. Gustavsson et al. (2009).

5 Referências

Aktan, B.; Bohus, C.A.; Crowl, L.A.; and Shor, M.H., (1996). Distance Learning Applied to Control Engineering Laboratories. *IEEE Transactions on Education*. Vol. 39. n. 3. August. pp. 320-326.

Alves, G.R.; Gericota, M.G.; Silva, J.B.; and Alves, J.B. (2007). Chapter 1. Large and Small Scale Networks of Remote Labs: a Survey. In: “Advances on remote laboratories and e-learning experiences”. Editores: Luís Gomes (Universidade Nova de Lisboa) and Javier García-Zubía (Universidad de Deusto). Universidad de Deusto, Bilbao, pp. 15-34. ISBN 978-84-9830-077-2.

Alves, G.R.; Costa-Lobo, C.; Duarte, M.; and Coelho, P. (2008). Weighting and sequence of use of different lab environments in the teaching-learning process, *International Council on Education for Teaching (ICET)*. Yearbook 2008.

Asumadu, J.A.; Tanner, R.; Fitzmaurice, J.; Kelly, M.; Ogunleye, H.; Belter J.; and Koh, S.C. (2005). A Web-Based Electrical and Electronics Remote Wiring and Measurement Laboratory (RwmLAB) Instrument. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. Vol. 54. no. 1. pp. 38-44.

Bagnasco, A.; Boccardo, A.; Buschiazzo, P.; Poggi, A.; and Scapolla, A.M. (2009). A Service-Oriented Educational Laboratory for Electronics. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. Vol. 56. Issue 12. pp. 4768-4775. ISSN: 0278-0046.

Chang, V.; and del Alamo, J.A. (2002). Collaborative WebLab: Enabling Collaboration in an Online Laboratory. *Proceedings of World Congress on Networked Learning in a Global Environment*, Berlin, Germany.

Cobby, M.; Nicol, D.; Durrani, T.S.; and Sandham, W.A. (1995). Teaching Electronic Engineering Via the World Wide Web. *Proceedings of the IEE Colloquium on Computer Based Learning in Electronic Education*, pp. 7/1-7/11.

Cooper, M.; and Ferreira, J.M. (2009). Remote Laboratories Extending Access to Science and Engineering Curricular. *IEEE Transactions on Learning Technologies*. Vol. 2. Issue 4. pp. 342-353. ISSN: 1939-1382.

Corter, J.E.; Nickerson, J.V.; Esche, S.K.; Chassapis, C.; Im, S.; and Ma, J. (2007). Constructing Reality: A Study of Remote, Hands-On, and Simulated Laboratories, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Vol. 14, No. 2, Article 7, 2007.

Costa, R.J.; Alves, G.R.; and Rela, M.Z.; Poley, R.; and Wishart, C. (2010). FPGA-based Weblab Infrastructures Guidelines and a prototype implementation example. 3rd IEEE International Conference on e-Learning in Industrial Electronics (ICELIE'09). Porto. Portugal. Novembro 2009.

Cyberlab. (2005). The Experiment Service Provider. Acedido em Setembro 2005, em <http://www.cyberlab.org/>

del Alamo, J.A.; Chang, V.; Brooks, L.; McClean, C.; Hardison, J.; Mishuris, G.; and Hui, L. (2003). MIT microelectronics WebLab. In: Lab on the Web, T. A. Fjeldly and M. S. Shur, Eds. Hoboken, NJ: IEEE Press/Wiley, 2003, chapter 2, pp. 49–87.

Eikaas, T.I.; Schmid, C.; Foss, B.A.; and Gillet, D. (2002). A Global Remote Laboratory Experimentation Network and the Experiment Service Provider Business Model. Conference on e-Work and e-Commerce (e2002), Prague, Czech Republic.

Feisel, L.D.; and Peterson, G.D. (2002). A Colloquy on Learning Objectives for Engineering Education Laboratories. Proceedings of the 2002 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition. Retirado em Dez., 26, 2007, de <http://www.abet.org/Linked%20Documents-UPDATE/White%20Papers/Laboratory%20Learning%20Objectives.pdf>

Feisel, L.D.; and Rosa, A.J. (2005). The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education. Journal of Engineering Education. January, pp. 121-130.

Ferreira, J.M.; and Cardoso, A.C. (2005). A Moodle extension to book online labs. International Journal of Online Engineering. Vol 1. No 2. Acedido em 11 Janeiro 2009, em <http://online-journals.org/index.php/i-joe/article/view/307>

Ferrell, W.R.; and Sheridan, T.B. (1967). Supervisory Control of Remote Manipulation. IEEE Spectrum, vol. 4, pp. 81-88.

Gericota, M. (2008). Estudo de uma aplicação baseada no uso de um amplificador operacional. Guião laboratorial n.º 2 para a disciplina de Electrónica II da LEEE. Ano lectivo 2007/08. ISEP.

Gertz, M.; Stewart, D., et al. (1994). A Human-Machine Interface for Distributed Virtual Laboratories. IEEE Robotics & Automation Magazine. December 1994.

Goertz, R.; and Thompson, R. (1954). Electronically controlled manipulator. Nucleonics.

Goldberg, K.; Mascha, M.; Gentner, S.; Rothenberg, N.; Sutter, C.; and Wiegley, J., (1995). Desktop Teleoperation via the World Wide Web. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 654-659.

Gustavsson, I.; Zackrisson, J.; Nilsson, K.; Zubia, J.; Håkansson, L.; Claesson, I.; Lago, T. (2008). A Flexible Electronics Laboratory with Local and Remote Workbenches in a Grid. International Journal of Online Engineering (iJOE), vol. 4, nº 2, 2008.

Gustavsson, I.; Nilsson, K.; Zackrisson, J.; Zubia, J.G.; Hernandez-Jayo, U.; Nafalski, A.; Nedic, Z.; Göl, Ö.; Machotka, J.; Pettersson, M.I.; Lagö, T.; and Håkansson, L. (2009). On Objectives of Instructional Laboratories, Individual Assessment, and Use of Collaborative Remote Laboratories. IEEE Transactions on Learning Technologies. Vol. 2. no. 4. pp. 263-274, Oct.-Dec. 2009, doi:10.1109/TLT.2009.42

Gravier, C.; Fayolle, J.; Bayard, B.; Ates, M.; and Lardon, J. (2008). State of the Art About Remote Laboratories Paradigms - Foundations of Ongoing Mutations. International Journal of Online Engineering (iJOE). Vol. 4. Issue 1. 2008.

Hine, N.; Alves, G.R.; Ferreira, J.M; Pereira, C.E.; Zubia, J.G.; Erbe, H.-H.; Herrera, O.; Chiang, L.; Alves, J.B.; Sucar L.E.; and Muller, D. (2007). Institutional Factors Governing

the Deployment of Remote Experiments: Lessons from the REXNET Project. International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV'07), Porto, Portugal, June.

Indrusiak, L.S.; Glesner, M.; and Reis, R. (2007). On the Evolution of Remote Laboratories for Prototyping Digital Electronic Systems. IEEE Transactions on Industrial Electronics. Vol. 54. no. 6. pp. 3069-3077. ISSN: 0278-0046.

Johnston, M.V.; Cox, F.J.; Forte, G.J.; Nairn, D.C.; Sacher, R.S.; Schwartz, A.Z.; and Vertes A. (2001). Remote Experimentation over the Net: Our First Year with MALDI". In: Analytical Chemistry, bi-monthly Journal of the American Chemical Society, Volume 73, No. 15, pp 440 A-445 A.

Ko, C.C.; Chen, B.M.; and Chen, J. (2004). Creating Web-Based Laboratories, Springer-Verlag. London. ISBN: 1-85233- 837-7.

Ma, J.; and Nickerson, J.V. (2006) Hands-On, Simulated, and Remote Laboratories: A Comparative Literature Review. ACM Computing Surveys, Vol. 38, n.º 3, Article 7, 2006.

Marques, R.; Rocha, J.; Rafael, S.; and Martins, J.F. (2008). Design and Implementation of a Reconfigurable Remote Laboratory, Using Oscilloscope/PLC Network for WWW Access, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 55, No. 6, pp. 2425-2432, June 2008.

MIT iLab Service Broker. (2005). Acedido em Setembro 2005 em <http://ilab.mit.edu/>

Nedic, Z.; Machotka, J.; and Nafalski, A. (2003). Remote laboratories versus virtual and real laboratories. In Proceedings of the 2003 33rd Annual Frontiers in Education Conference. Boulder, CO. USA. T3E.1-T3E.6.

Pires, V.F.; Martins, L.S.; Amaral, T.G.; Marçal, R.; Rodrigues, R.; and Crissstomo, M.M. (2008). Distance-Learning Power-System Protection Based on Testing Protective Relays. IEEE Transactions on Industrial Electronics, June 2008. Vol. 55, Issue 6, pp. 2433-2438. ISSN: 0278-0046

Restivo, M.T.; Mendes, J.; Lopes, A.M.; Silva, C.M.; and Chouzal, F. (2009). A Remote Laboratory in Engineering Measurement. IEEE Transactions on Industrial Electronics. Vol. 56. Issue 12. pp. 4836-4843. ISSN: 0278-0046.

Richards, P. (2001). MIT to make nearly all course materials available free on the WWW. Acedido em 4 Janeiro 2010 em <http://web.mit.edu/newsoffice/2001/ocw.html>

Schaf, F.M.; and Pereira, C.E. (2009). Integrating Mixed-Reality Remote Experiments Into Virtual Learning Environments Using Interchangeable Components. IEEE Transactions on Industrial Electronics. Vol. 56. Issue 12. pp. 4776-4783. ISSN: 0278-0046.

Scheucher, B.; Bailey, P.H.; Gütl, C.; and Harward, J.V. (2009). Collaborative Virtual 3D Environment for Internet-Accessible Physics Experiments. International Journal of Online Engineering. Vol 5. No 2. Acedido em 11 Janeiro 2009 em <http://online-journals.org/index.php/i-joe/article/view/1014/1032>

Schmid, C. (2000). “Remote Experimentation in Control Engineering”, Internationales Wiss. Kolloquium, Ilmenau, pp. 943-948, Germany.

Sousa, N. (2008). Bancada Laboratorial Remota para o Ensino da Electrónica. Tese de Mestrado em Eng. Electrotécnica e Computadores. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Sousa, N.; Gericota, M.G.; and Alves, G.R. (2009a). Um Laboratório Remoto, Múltiplas Potencialidades. II Jornadas Luso-Brasileiras de Ensino e Tecnologia em Engenharia (JLBE'09), Porto, Portugal, 10 a 13 Fevereiro 2009.

Sousa, N., Alves, G. R., and Gericota, M. G. (2009b). An Integrated Reusable Remote Laboratory to Complement Electronics Teaching. IEEE Transactions on Learning Technologies, Special Issue on Remote Labs. Acedido a 7 Janeiro em <http://www.computer.org/portal/web/csdl/doi/10.1109/TLT.2009.51>

Soysal, O. (2000). Computer Integrated Experimentation in Electrical Engineering Education over Distance. Proceedings of ASEE 2000 Annual Conference, Saint Louis, MO, USA.

Zubía, J. G., Ipiña, D. L., and Orduña, P. (2005). Evolving towards better architectures for remote laboratories: a practical case. International Journal of Online Engineering, Special Issue REV 2005. Vol. I, No 2. ISSN: 1861-2121. Acedido em 6 Janeiro 2009 em <http://www.ijoe.org/ojs/viewissue.php?id=2>.

Zubía, J.G.; Orduña, P.; Irurzun, J.; Hernández, U.; Sancristobal, E.; Martín, S.; Castro, M.; Ipiña, D.L.; and Ângulo, I. (2009a). Towards an Extensible WebLab Architecture. 3rd IEEE International Conference on e-Learning in Industrial Electronics (ICELIE'09), Porto, Portugal, 3-5 Novembro.

Zubía, J.G.; Ipiña, D.L.; Orduña, P.; and Alves, G.R. (2009b). Addressing Software Impact in the Design of Remote Labs. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Special Issue on E-Learning and Remote Laboratories within Engineering Education. Vol. 56, Issue 12, December. pp. 4757 – 4767, ISSN 0278-0046.

6 Anexos

Lista de treze objectivos extraída de Feisel & Peterson (2002). Todos os objectivos começam com o seguinte preâmbulo: “*Após completarem as práticas laboratoriais do curriculum, os alunos serão capazes de ...*”:

Objectivo 1: Instrumentação

Utilizar sensores, instrumentos, e/ou ferramentas de software apropriadas para efectuar medições de quantidades físicas.

Objectivo 2: Modelos

Identificar as potencialidades / limitações dos modelos teóricos como ferramentas de previsão de comportamentos do mundo real. Pode incluir a capacidade de avaliar se uma dada teoria é capaz de descrever adequadamente um dado evento físico e ainda estabelecer ou validar uma relação entre dados obtidos por medição e princípios físicos subjacentes.

Objectivo 3: Experimentar

Idealizar uma aproximação experimental, especificando equipamentos e procedimentos apropriados. Implementar esses procedimentos e interpretar os resultados obtidos para caracterizar um dado sistema, componente ou material usado em engenharia.

Objectivo 4: Análise de dados

Demonstrar capacidade de recolher, analisar e interpretar dados, e de formar e suportar conclusões. Possuir capacidade de julgamento de ordens de magnitude, conhecer sistemas de unidades e saber efectuar conversões.

Objectivo 5: Projectar

Projectar, construir ou montar um componente, produto ou sistema completo, nomeadamente através da utilização de metodologias, equipamentos ou materiais específicos; respeitando os requisitos do cliente; desenvolvendo especificações a partir dos requisitos; e testando e depurando um protótipo, sistema, ou processo, recorrendo a ferramentas adequadas, para satisfazer os requisitos.

Objectivo 6: Aprender com os erros

Reconhecer resultados errados devidos a faltas de equipamento, partes, código, construção, processamento, manuseamento, ou projecto, e ser capaz de engendrar soluções efectivas para lidar com essa faltas.

Objectivo 7: Criatividade

Demonstrar possuir níveis apropriados de raciocínio próprio e independente, criatividade, e capacidade de resolver problemas reais.

Objectivo 8: Psicomotor

Demonstrar competências na selecção, modificação, e manuseamento de recursos e de ferramentas de engenharia apropriadas.

Objectivo 9: Segurança

Reconhecer questões de saúde, segurança e ambiente relacionadas com actividades e processos tecnológicos e lidar com elas de forma responsável.

Objectivo 10: Comunicação

Comunicar eficazmente a uma audiência específica sobre trabalho laboratorial, tanto de forma escrita como oral, a todos os níveis, desde breves sínteses até extensos relatórios técnicos.

Objectivo 11: Trabalho em equipa

Trabalhar em equipa de forma eficaz, sendo capaz de reportar individualmente ou em grupo; atribuir papéis, responsabilidades e tarefas; monitorizar o progresso; respeitar prazos; e integrar contribuições individuais num resultado final.

Objectivo 12: Ética no laboratório

Comportar-se com o mais elevado nível ético, nomeadamente reportando informação de forma objectiva e interagindo com integridade.

Objectivo 13: Percepção sensorial

Utilizar os sentidos humanos para reunir informação e emitir juízos credíveis de engenharia na formulação de conclusões sobre problemas do mundo real.

Descrição do circuito RC para o *Circuit Simulator* v1.5g (<http://www.falstad.com/circuit/>)

```
$ 1 5.0E-6 10.20027730826997 50 5.0 43
r 432 192 432 272 0 10000.0
c 304 144 384 144 0 5.6000000000000005E-8 4.919818494053697
v 240 192 240 272 0 2 100.0 5.0 0.0 0.0 0.5
g 352 304 352 336 0
w 240 192 240 144 0
w 240 144 304 144 0
w 384 144 432 144 0
w 432 144 432 192 0
w 240 272 240 304 0
w 240 304 352 304 0
w 432 272 432 304 0
w 432 304 352 304 0
o 2 64 0 34 5.0 7.8125E-4 0 -1
o 0 64 0 34 10.0 7.8125E-4 1 -1
```

Descrição do circuito baseado num amplificador operacional para o *Circuit Simulator* v1.5g

```
$ 1 5.0E-6 10.20027730826997 50 5.0 43
r 400 176 400 240 0 1000.0
r 480 144 480 208 0 940.0
r 480 288 480 352 0 1000.0
r 560 240 560 304 0 1000.0
r 192 160 192 224 0 470.0
g 112 384 112 400 0
z 192 352 192 304 1 0.805904783 4.7
a 224 256 304 256 1 15.0 0.0 1000000.0
t 400 144 400 112 0 1 -5.026630978668383 0.6674036107226033 100.0
v 112 304 112 240 0 0 40.0 15.0 0.0 0.0 0.5
w 192 352 192 384 0
w 304 256 400 256 0
w 400 256 400 240 0
w 400 144 400 176 0
w 480 352 480 384 0
w 224 272 224 320 0
w 224 320 432 320 0
w 480 208 480 288 0
w 432 208 480 208 0
w 560 304 560 384 0
w 112 304 112 384 0
w 416 112 416 80 0
w 416 80 192 80 0
w 192 80 192 160 0
w 112 240 112 128 0
w 480 144 480 112 0
w 384 112 384 96 0
w 384 96 480 96 0
w 480 112 480 96 0
w 480 96 560 96 0
w 192 384 112 384 0
w 192 384 480 384 0
w 560 384 480 384 0
w 432 208 432 320 0
w 112 128 112 80 0
w 112 80 192 80 0
w 224 240 192 240 0
w 192 240 192 224 0
w 192 304 192 240 0
r 592 240 592 304 0 270.0
S 576 128 576 192 0 0 false 0
w 560 96 576 96 0
w 576 96 576 128 0
w 560 192 560 240 0
w 592 240 592 192 0
w 592 304 592 384 0
w 592 384 560 384 0
```

Estudo de uma aplicação baseada no uso de um amplificador operacional. Guião laboratorial n.º 2 para a disciplina de Electrónica II da LEEE. Ano lectivo 2007/08. ISEP.

Gentilmente cedido pelo autor: Doutor Manuel Gradim de Oliveira Gericota

Proposta de trabalho nº 2

Estudo de uma aplicação baseada no uso de um amplificador operacional

O objectivo deste trabalho é que o aluno, perante um circuito baseado num amplificador operacional, seja capaz de analisá-lo e de descrever a sua funcionalidade. A planificação proposta pretende dotar o aluno da metodologia e ferramentas de análise semelhantes às utilizadas em ambiente industrial. O trabalho está dividido em três etapas:

1. Análise do circuito alvo considerando o modelo ideal do amplificador operacional;
2. Verificação do funcionamento do circuito em ambiente de simulação OrCAD;
3. Verificação do funcionamento do circuito através da implementação real.

No final deve apresentar um relatório que permita verificar que foram cumpridas todas as etapas intermédias do trabalho.

Proposta de trabalho

Circuito alvo

O circuito alvo deste trabalho está representado na figura 2.1.

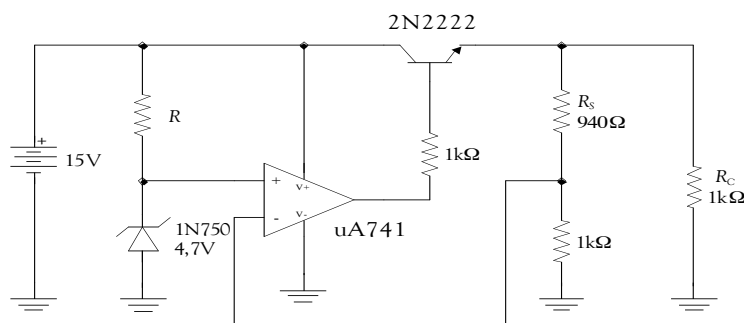


Figura 2.1: Circuito proposto para análise

1ª etapa - análise teórica do funcionamento do circuito usando o modelo ideal do amplificador operacional

Na primeira etapa do trabalho deve:

1. Determinar o valor da resistência R tendo em conta o valor da tensão de alimentação e o correcto funcionamento dos componentes do circuito e considerando que tem apenas disponível a série E12 de resistências (1,0, 1,2, 1,5, 1,8, 2,2, 2,7, 3,3, 3,9, 4,7, 5,6, 6,8, 8,2 e 10,0);
2. Analisar o circuito alvo utilizando o modelo do amplificador operacional ideal, determinando (se possível) todos os valores da tensão em todos os nós do circuito e das correntes em todos os seus ramos operacionais;
3. Repetir os cálculos alterando o valor de R_C de 1 kΩ para 270 Ω;
4. Variando o valor da resistência R_S de 940 Ω para 1547 Ω (= 1,5 kΩ + 47 Ω), repetir a alínea 2 e 3;
5. Variando a tensão de entrada para 12 V, repita as alíneas 2 a 4.

Considere agora o circuito representado na figura 2.2.

6. Descreva a alteração introduzida no circuito e qual a sua funcionalidade;
7. Para o circuito da figura 2.2, e exclusivamente com a tensão de alimentação de 15V, recalcule os valores da tensão e da corrente na resistência R_C para o valor de 1 kΩ e para 270 Ω;

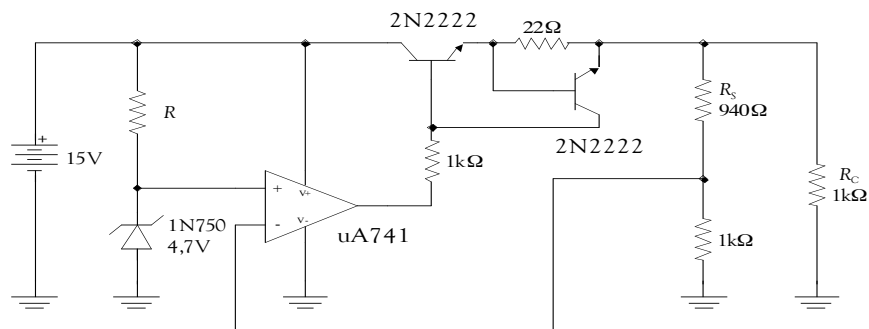


Figura 2.2: Alteração ao circuito inicial

8. Altere o valor de R_S de 940Ω para $1547 \Omega (= 1,5 \text{ k}\Omega + 47 \Omega)$, e repita a alínea anterior;
9. Calcule o valor máximo da corrente que pode ter a alimentar a carga e o valor mínimo da resistência de carga para que a regulação não se perca para os dois valores de R_S .

Considere agora o circuito representado na figura 2.3.

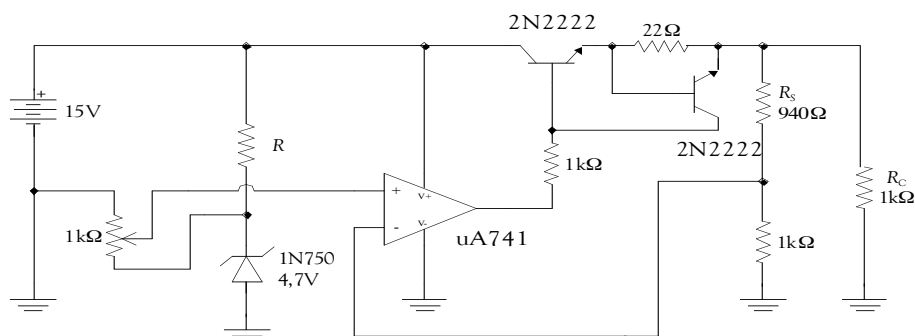


Figura 2.3: Segunda alteração ao circuito inicial

10. Descreva a alteração introduzida no circuito, qual a sua funcionalidade e as limitações que apresenta, quantificando-as;

11. Por último, descreva a totalidade do funcionamento do circuito e qual o seu objectivo.

2ª etapa – Simulação

A segunda etapa do trabalho corresponde à verificação do funcionamento dos circuitos das figuras 2.1 e 2.2 em ambiente de simulação utilizando a aplicação OrCAD.

12. Verifique na simulação a totalidade dos resultados teóricos que obteve na parte analítica, explicando cada resultado não coincidente; se não conseguir a convergência dos valores, seleccione em *PSpice* → *Edit Simulation Profile* a opção *Skip the initial transient bias point calculation*; explique o porquê da não convergência.

3ª etapa - Montagem

A terceira etapa do trabalho corresponde à verificação do funcionamento do circuito através da sua implementação prática.

13. Monte o circuito da figura 2.1;
14. Verifique a concordância entre a totalidade dos valores teóricos e simulados que anotou e os que obtem experimentalmente; para a medida das correntes use o método indirecto;
15. Repita a alínea anterior mas agora com uma resistência R_C de 270 Ω ;
16. Varie R_S para 1547 Ω (= 1,5 k Ω + 47 Ω) e repita as duas alíneas anteriores;
17. Variando a tensão de entrada para 12 V, e para os dois valores da resistência R_S (940 Ω e 1547 Ω), obtenha os valores de tensão e corrente na resistência R_C para o valor de 1 k Ω e para 270 Ω ;
18. Altere o circuito para a configuração da figura 2.2 e exclusivamente com uma tensão de alimentação de 15 V repita as alíneas 14 a 16.

Relatório

Os alunos poderão esclarecer dúvidas e pedir orientações para a realização dos relatórios durante as aulas de laboratório e de tutoria.

O relatório deve conter:

1. As descrições e os cálculos analíticos pedidos nas alíneas 1 a 11;
2. Os valores que retirou das várias simulações que efectuou; **uma vez que as grandezas são invariáveis no tempo, não há necessidade nem acuidade na colocação no relatório de gráficos temporais;**
3. Uma análise comparativa entre os valores analíticos e os valores obtidos na simulação, justificando eventuais discrepâncias;
4. As leituras efectuadas durante a montagem;
5. Uma análise das discrepâncias que eventualmente possam existir entre o estudo analítico, a simulação e os resultados da montagem;
6. Uma tabela comparativa contendo todos os resultados obtidos nas três etapas do trabalho – cálculos teóricos, simulação e montagem;
7. Por último, uma análise dos resultados associada à descrição de cada uma das montagens, comentando de que forma as alterações introduzidas nas várias alíneas (alterações nos valores de várias resistências, na tensão de alimentação e introdução de novos componentes) influenciaram ou alteraram o comportamento do circuito e a sua funcionalidade.

