

## LABORATÓRIO PALAS: NOVOS MÓDULOS DE ENSINO REMOTO

**José M. de Seixas** – seixas@lps.ufrj.br  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, EE/COPPE  
CP 68504  
21945-970 – Rio de Janeiro  
**Paulo Baffa Júnior** – baffa@lps.ufrj.br  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, EE/COPPE  
CP 68504  
21945-970 – Rio de Janeiro

**Resumo.** *Este trabalho descreve a atualização do laboratório PALAS, que é um laboratório virtual que objetiva apoiar o ensino remoto ou regular da teoria e aplicação de sistemas lineares em engenharia. A atualização se dá pela inserção de novos módulos na estrutura PALAS, cobrindo diferentes áreas da análise temporal e espectral de sistemas contínuos e discretos no tempo. A ampliação do PALAS acontece num momento em que este laboratório está sendo integrado a um completo ambiente educacional, apoiado computacionalmente e com facilidades de acesso remoto, o que permite que esta estrutura integrada de software e hardware interfaceie com áreas mais avançadas do currículo profissional de eletrônica e com os conteúdos de ciências básicas.*

**Palavras-chave:** *Laboratório virtual, Ensino apoiado computacionalmente, Universidade virtual, Ensino à distância.*

### 1. INTRODUÇÃO

Nas diversas especialidades de engenharia, e notadamente nas áreas de engenharia elétrica/eletrônica e de computação, onde o computador não é apenas uma ferramenta, mas também é alvo de intenso estudo e desenvolvimento, a Internet e os sistemas computacionais vêm alterando significativamente a forma de se pensar e desenvolver projetos. Sistemas sofisticados de engenharia de software permitem, hoje, o acompanhamento eficiente de projetos colaborativos, multidisciplinares e distribuídos geograficamente, além do uso intenso da rede Internet como repositório privilegiado de informações. O volume enorme de informação disponibilizado pela rede exige que os usuários tenham capacitação de construir complexos filtros de informação, que os levem aos conteúdos essenciais para a aplicação de engenharia em questão, e um sofisticado nível de elaboração, para produzir os seus próprios conteúdos e contribuir com o desenvolvimento da aplicação.

A área educacional também procura soluções com apoio computacional via Internet. Este ensino apoiado pela Internet pode assumir a forma de ensino à distância ou de ensino regular, presencial, apoiado por laboratórios remotos integrados.

O ensino à distância de engenharia via Internet possui, especificamente, dois aspectos importantes. O primeiro, mais geral, se refere ao próprio ensino com acesso remoto de conteúdo, intercâmbio de experiências entre usuários e monitoração remota de aprendizado. Este aspecto, em verdade, é compartilhado por quaisquer conteúdos disponibilizados para ensino à distância. Por outro lado, o sistema de acesso à informação envolve problemas da própria engenharia, o que o transforma também num tema de ensino e pesquisa em si mesmo. Assim, surge um duplo interesse, coordenando a necessidade de se projetar técnicas educacionais eficientes para o novo ambiente de aprendizado, com o projeto de novas interfaces e vias para o tráfego de dados requeridos pela aplicação de ensino à distância.

Com o notável avanço computacional dos últimos anos, a área de engenharia elétrica/eletrônica viu crescer enormemente os requisitos de desenvolvimento de *software*, de tal maneira que os modernos projetos de engenharia incluem a integração do desenvolvimento de *hardware* e *software* em sistemas complexos. Nas demais especialidades de engenharia, este enfoque de integração *hardware* e *software* também é sentida com intensidade. Desta maneira, a formação de engenharia que se busca na atualidade deve combinar fortes conhecimentos em ambos os aspectos, incluindo a atualização do engenheiro nas tecnologias de ponta, com uma profunda base em ciências básicas, de modo a sustentar uma evolução tecnológica vertiginosa e a contínua substituição de conhecimentos superados tecnologicamente por novas e cada vez mais complexas concepções. Portanto, o engenheiro do novo milênio, mais do que nunca, deverá aprender uma vasta gama de conhecimentos, mas também deverá aprender a esquecer parte do que aprende, substituindo tecnologias superadas.

Neste artigo, um conjunto de módulos didáticos é descrito para o laboratório PALAS, um laboratório virtual que objetiva apoiar o ensino remoto ou regular da teoria e das aplicações de sistemas lineares em engenharia (PALAS, 1996). Este laboratório é concebido em módulos interligados hipertextualmente que descrevem os principais aspectos em sistemas lineares, e que permitem ao usuário uma navegação sobre assuntos básicos e avançados da teoria (Jandre, 1996).

Aspectos de *hardware* e *software* se encontram interligados nesta concepção de laboratório virtual, através de três níveis de interação do usuário com os temas explorados em cada módulo. No primeiro nível, o usuário pode interagir com pacotes comerciais tipicamente utilizados na área, de modo a simular diferentes condições de desempenho dos sistemas em estudo, vivenciando os efeitos dos diferentes parâmetros e a sua faixa dinâmica de atuação. No segundo nível, o usuário pode simular sistemas em *hardware* que serão utilizados em atividades de prática laboratorial, permitindo-lhe prever o que pode acontecer na experimentação real, em laboratório de bancada, e preparando-lhe para identificar as principais características e limitações do sistema. Estes sistemas em *hardware* produzem, então o terceiro nível de interação com o usuário, e podem ser fornecidos pela coordenação do projeto PALAS, na forma de *kits*, sob demanda.

O laboratório PALAS estrutura os seus módulos na forma de uma introdução teórica, de linha tutorial, acompanhada pelos respectivos experimentos (simulações e circuitos). Um ambiente de desafio é também disponibilizado em cada módulo, visando levar o usuário a elaborar sobre um tema mais complexo, embora ainda relacionado com o tópico

central do módulo, que lhe possa instigar a criatividade e o interesse. Desta forma, o PALAS procura evitar as armadilhas de um ensino repetitivo e procura meios de fomentar a astúcia e habilidade intelectual dos seus usuários (Mager, 1975). Os usuários podem contactar o corpo docente ligado ao laboratório, através de correio eletrónico, esclarecendo dúvidas e aprofundando conhecimentos. Testes remotos de avaliação também são encontrados no ambiente PALAS.

O laboratório PALAS se detém sobre a teoria de sistemas lineares por dois motivos. Em primeiro lugar, sistemas lineares têm forte impacto em sistemas de controle, processamento de sinais, instrumentação, telecomunicações e outras áreas de engenharia. Em segundo lugar, apesar da sua importância fundamental, o conteúdo de sistemas lineares não é facilmente assimilado pela maioria dos alunos, necessitando de um longo período de maturação, que, tipicamente, se estende, inclusive, pelo período profissional do aluno. Os seus conceitos sofisticados e a forte necessidade de uma matemática mais avançada estão na origem destas dificuldades de aprendizagem.

Dois aspectos essenciais estão envolvidos na análise de sistemas físicos. A análise pode focar o desenvolvimento de um modelo para os sistemas, criando-se as respectivas formulações matemáticas que descrevem os sistemas em questão. Um segundo aspecto concerne a solução destes modelos, descrevendo-se as suas respostas para condições específicas de funcionamento, com respeito às excitações dos sistemas e aos seus estados iniciais. Especificamente, o laboratório PALAS se encontra mais orientado para o segundo aspecto da análise, provendo discussões sobre os principais aspectos das técnicas mais poderosas de análise; embora também realce alguns aspectos da modelagem (identificação) de sistemas.

Na seção seguinte discutimos a confecção dos novos módulos que vêm ampliar significativamente a cobertura didática do PALAS. Esta ampliação de cobertura possibilita o apoio do PALAS a uma ampla gama de cenários no ensino de sistemas lineares e suas aplicações, aumentando-lhe o impacto e aplicabilidade. Na Seção 3, descrevemos como o laboratório está sendo integrado a um completo ambiente didático apoiado computacionalmente, e, na Seção 4, apresentamos as conclusões deste trabalho.

## **2. NOVOS MÓDULOS DIDÁTICOS**

Na fase inicial de instalação do laboratório em 1996, uma tarefa importante foi a interação com os alunos, que, na época, cursavam a cadeira de graduação relacionada com sistemas lineares e, conseqüentemente, seriam os usuários naturais do laboratório didático em construção. Desta forma, pode-se travar contacto com as primeiras reações dos alunos, e corrigir as falhas observadas. A boa receptividade alcançada e a contínua vivenciação desta experiência didática nestes anos mostraram que o laboratório podia contribuir para o ensino regular, bem como à distância, deste importante tópico de engenharia. Oito módulos (Identificação de Sistemas, Equações Diferenciais, Resposta ao Degrau, Séries de Fourier, Filtros Sintonizados, Filtros Casados, Sistemas Discretos no Tempos) foram construídos e, assim, se encontravam disponíveis até se iniciar este trabalho de ampliação e atualização (Jandre et al, 1998).

Na fase atual, além da construção de novos módulos didáticos, o trabalho envolveu uma mudança de concepção visual do laboratório. O apelo visual do laboratório foi reformulado, também como decorrência da crescente velocidade de transformação da própria Internet. No início, houve uma preocupação constante com o aspecto visual do

laboratório, de forma a que este não se apresentasse como enfadonho para o aprendiz, aos olhos do aluno, e que realmente este aluno pudesse sentir prazer em navegar pelas páginas dos diversos módulos. A primeira versão, fortemente colorida, ressaltava este apelo visual. Com o próprio avanço da programação em Internet, este tipo de documento com forte apelo visual foi tendo menor aceitação entre os usuários da rede em geral. Assim, a versão atual se apresenta mais discreta e eficiente, do ponto de vista educacional.

O PALAS utiliza diferentes pacotes de software comerciais (Matlab, PSPICE, Circuit Maker, etc), que apresentam ampla aceitação na engenharia. Este aspecto foi mantido na versão atual, sendo que o usuário deve ter acesso a tais pacotes, de forma a executar os programas incluídos em cada módulo. Com isto, o usuário transfere os executáveis para o seu ambiente computacional, e vivencia a sua experiência de forma personalizada, sem sofrer com possíveis limitações de velocidade de rede. Uma versão em que um sistema servidor provê todos os recursos computacionais requeridos pelo ambiente PALAS, sem qualquer restrição para os recursos disponíveis ao usuário, em termos de *software* e ambiente computacional adequados, está sendo estudado, como alternativa, de maneira que usuários com facilidades de acesso rápido à rede, ou sem acesso aos pacotes de *software* em questão, possam otimizar o seu acesso ao laboratório.

Em termos da experimentação em laboratório de bancada dos circuitos propostos nos módulos do PALAS, o uso do ambiente LabVIEW vem ampliando o escopo de aplicação do PALAS. O ambiente LabVIEW (National Instruments, 1998) permite que, via Internet, o usuário tenha controle sob diferentes equipamentos de bancada, variando configurações do sistema de medidas (geradores, osciloscópios, fontes de alimentação, *softwares* de processamento e análise de sinais e dados) e carregando códigos para dispositivos programáveis (como processadores digitais de sinais – DSPs, amplamente utilizados em aplicações práticas de sistemas lineares). Desta maneira, os usuários do PALAS não precisam ter acesso a recursos laboratoriais de bancada, podendo utilizar os equipamentos disponíveis na UFRJ, o que amplia consideravelmente a audiência do laboratório virtual e concretiza a vivência prática, mesmo que através de um ambiente remoto. Tecnicamente, o ambiente LabVIEW produz instrumentos virtuais de bancada, disponibilizando os controles e configurações do sistema de medidas numa forma amigável e simples. Os equipamentos de bancada dialogam com o ambiente LabVIEW instalado em um computador pessoal do tipo IBM através da interface GPIB, um barramento simples que é amplamente usado em instrumentação (Fink e Christiansen, 1982). O uso do LabVIEW, no ambiente PALAS, se encontra em desenvolvimento.

Nas subseções seguintes, os novos módulos introduzidos são brevemente descritos.

## **2.1 Diferenciadores e Integradores**

O objetivo deste módulo é analisar os sistemas lineares integradores e diferenciadores, tanto nos seus aspectos ideais de funcionamento, como nas suas limitações e respostas aproximadas, quando operando em situações realísticas de aplicação. Partindo-se de sistemas RC/CR simples, de primeira ordem, estudam-se condições de integração e diferenciação (Millman e Taub, 1965) para pulsos típicos de instrumentação (ondas senoidais, pulsos bloco, onda quadrada ideal e com tempo de subida limitado).

Basicamente, a parte interativa do módulo consiste em sistemas e circuitos descritos no ambiente do Circuit Maker, com fornecimento de informações de como o usuário pode manipular os circuitos e realizar as mudanças de parâmetros que desejar. Todo o estudo se

baseia na possibilidade do usuário modificar a constante de tempo de cada circuito, permitindo-lhe verificar qualitativa e quantitativamente as respostas obtidas em diferentes condições de velocidade e acuidade. Nestas circunstâncias, o usuário poderá amadurecer a idéia da existência de constantes de tempo do sistema e da entrada.

Em termos de experimento em laboratório de bancada, o módulo desenvolve um sistema RC com constante de tempo programável, que pode ser encomendado pelo usuário e é de simples manuseio.

## 2.2 Função Impulso

Neste módulo, desenvolvem-se diferentes aproximações da função impulso, uma função generalizada com intensa aplicação em sistemas lineares, pois, a partir da resposta impulsiva do sistema, pode-se determinar a resposta (estado zero) deste para qualquer sinal de excitação (Lathi, 1974). Realizam-se análises no sentido de se avaliar as características e acuidades alcançadas por estas aproximações, comparando-as com a função impulso ideal.

Um *script* escrito para o MatLab permite ao usuário variar os parâmetros de cada aproximação. Utilizam-se aproximações por meio de um pulso bloco de área unitária, com largura decrescente, e funções de Bessel. Desta maneira, a performance das aproximações pode ser avaliada em termos dos erros provocados. O impacto destas aproximações, quando são utilizadas como excitações de entrada para sistemas lineares, é também avaliado pelo usuário, utilizando-se o Circuit Maker e comparando-se a resposta obtida com a resposta ideal.

## 2.3 Transformada Rápida de Fourier (FFT)

A transformada rápida de Fourier (FFT) é uma ferramenta fundamental para a análise espectral de sistemas lineares, haja vista que implementa eficientemente a análise de Fourier (Oppenheim e Schaffer, 1989). Apesar da sua intensa aplicação em engenharia, a FFT se utiliza de conceitos sofisticados de processamento de sinais discretos, o que dificulta o seu aprendizado.

O módulo introduz as idéias básicas deste algoritmo, baseadas na teoria da transformada discreta de Fourier, e analisa as suas principais propriedades para aplicação. Um *script* escrito para o MatLab permite ao usuário o teste do algoritmo para diferentes sinais (simples e complexos), com possibilidades de análise complementar (desafio) para sinais mascarados pela presença de ruído aditivo.

## 2.4 Teorema da Amostragem

Por se tratar de um dos mais importantes conceitos em sistemas lineares, por permitir a passagem de sistemas contínuos para sistemas discretos e concretizar o uso de processamento digital de sinais, com suas vantagens de precisão e programabilidade, o teorema da amostragem (também conhecido como teorema de Nyquist) merece um tratamento de destaque no PALAS, através deste módulo. O teorema (Oppenheim et al, 1983) é desenvolvido a partir da análise de Fourier e conceitos relativos a uma amostragem de sinal feita com a taxa de amostragem incorreta (efeito de *aliasing*) são trabalhados no módulo. Também é enfatizada a recuperação de sinais contínuos a partir de suas amostras, quando amostrados corretamente por conversores analógico-digitais.

A prática laboratorial de bancada (circuito) é desenvolvida a partir de um bloco fundamental para a amostragem de sinais, o circuito *sample-and-hold*, com apoio de simulação através do ambiente Circuit-Maker.

## 2.5 Séries de Fourier Não-Trigonométricas

A análise de Fourier para sinais é um elemento fundamental para a teoria de sistemas lineares, permitindo que se conheça a estrutura do sinal no domínio da frequência. Apesar de se utilizar mais intensamente a série de Fourier trigonométrica para a análise de sinais periódicos, certas aplicações são mais eficientemente estudadas por meio de séries generalizadas de Fourier, que utilizam diferentes funções geradoras (Beauchamp, 1979). Desta maneira, o módulo introduz os conceitos de ortogonalidade, projeção e de fechamento para funções e analisa as características das séries de Legendre, Walsh e Laguerre (Oppenheim et al, 1983). *Scripts* em MatLab permitem ao usuário a análise das características de convergência e acuidade destas séries e da sua aplicabilidade.

## 2.6 Fenômeno de Gibbs

O interessante fenômeno de Gibbs (Oppenheim et al, 1983), que ocorre quando sinais com comutação instantânea são amostrado, é analisado neste módulo. Não só este fenômeno é observado em termos do erro de convergência da série de Fourier que ele provoca, como também é estudado o seu efeito para sinais que, apesar de não apresentarem a comutação instantânea ideal, são suficientemente rápidos para testar os efeitos práticos do fenômeno.

Um *script* em MatLab testa os efeitos práticos do fenômeno, permitindo ao usuário a sua observação para sinais rápidos com diferentes tempos de subida.

## 3. UMA TEIA DE INTERCONEXÃO

A experiência PALAS permitiu conceber-se um ambiente educacional que interliga os módulos do PALAS com outros laboratórios virtuais em construção, envolvendo tópicos de ciências básicas (PACUS, em cálculo, e PALIN, em álgebra linear) e tópicos avançados de engenharia eletrônica e computação (PAPROS, em processamento de sinais, PATROL, em engenharia de controle, PATOOLS, em ferramentas computacionais). Esta teia de interconexão de laboratórios virtuais (conhecida como sistema PAPOULA) generaliza o conceito de laboratório virtual e cria uma ambiente educacional apoiado computacionalmente, que permite ao usuário uma navegação com acesso a tópicos básicos que precisam ser recordados (no caso de alunos avançados) ou a tópicos avançados de engenharia, onde aplicações dos conceitos básicos podem ser identificados (no caso de alunos que ainda estão no início do curso) (Seixas e Jandre, 1998).

Com a ampliação do PALAS e a construção destes novos laboratórios virtuais, caminha-se no conceito de universidade virtual, no âmbito de um curso de engenharia. Esta experiência tem flexibilidade suficiente para acomodar estruturas laboratoriais virtuais para as diferentes especialidades de engenharia, formando ambientes educacionais próprios que podem se interconectar hipertextualmente, construindo uma escola de engenharia virtual.

Deve-se destacar que o ambiente PAPOULA está sendo concebido como um esforço colaborativo de matemáticos, engenheiros, informáticos e educadores. Procura-se não só

encontrar os formatos e tecnologias adequadas ao aprendizado dos módulos, como também as experiências educacionais que podem enriquecer o aprendizado do aluno, tanto usuário de um programa de ensino à distância, como regularmente inscrito num curso de graduação em engenharia, fazendo-lhe avivar a criatividade e a elaboração dos seus próprios conceitos e entendimentos. Além disto, o desenvolvimento do PAPOULA utiliza ferramentas de apoio da moderna engenharia de *software*, interligando, mais uma vez, as áreas educacionais, incorporando estas ferramentas ao ensino e permitindo um acompanhamento eficiente do projeto educacional em curso (Martins et al., 1998).

#### 4. CONCLUSÕES

O laboratório virtual PALAS vem sendo desenvolvido desde 1996, objetivando contribuir com o aprendizado da importante teoria de sistemas lineares em engenharia. Neste trabalho, foi apresentado uma ampliação do conjunto de módulos originalmente desenvolvidos para o laboratório, permitindo atingir-se uma cobertura bem maior do conjunto de técnicas de análise em sistemas lineares. Com esta ampliação, o PALAS apresenta vários aspectos fundamentais e de grande aplicabilidade na análise nos domínios do tempo e da frequência de sinais e sistemas. Os módulos se apoiam em *scripts* desenvolvidos para pacotes de *software* amplamente utilizados em engenharia. Experiências práticas em bancadas de laboratório também são sugeridas ao longo dos módulos.

A ampliação aqui descrita ocorre em conjunto com a generalização da experiência PALAS, quando se cria um ambiente educacional apoiado computacionalmente que conjuga diferentes aspectos da formação de engenharia, envolvendo um trabalho cooperativo de matemáticos, informáticos, engenheiros e educadores. Assim, o laboratório PALAS passa a ser um módulo deste ambiente e suas páginas podem ser consultadas neste ambiente mais amplo.

Estes sistemas educacionais virtuais, apoiados computacionalmente e acessados através da Internet, podem ser utilizados no ensino regular e à distância. Apesar das novas relações pedagógicas que estes ambientes podem estabelecer, e das inerentes vantagens de acesso, independente da localização geográfica e do horário físico de acesso do usuário, há também perdas e riscos associados. Por exemplo, os importantes aspectos sociais das relações professor-estudante e estudante-estudante, com a correspondente confrontação de idéias e da velocidade de resposta (tempo real) características do ensino presencial, mudam consideravelmente. Deve-se destacar que a tecnologia pode reorientar esta discussão, fornecendo facilidades de videoconferência em tempo real e de alta qualidade. Entretanto, fatos como o crescente isolamento pessoal que os sistemas de comunicação vêm fomentando, junto com a desigualdade social e a competição estimulada de economias crescentemente globalizadas, atualizam a discussão desta perda do convívio social do ensino presencial. A combinação de ambos ambientes, presencial e à distância (independente da distância física do usuário), em um mesmo programa educacional é uma alternativa interessante, quando possível, pois facilita a construção de uma interface suave entre estes domínios e a experimentação da tecnologia que é requerida pela engenharia moderna.

#### *Agradecimentos*

Gostaríamos de expressar o nosso agradecimento a FAPERJ e ao CNPq pelo apoio a esta pesquisa. Agradecimento especial ao engenheiro Frederico Caetano Jandre de Assis Tavares, pelas discussões frutíferas de diferentes aspectos deste desenvolvimento.

## REFERÊNCIAS

- Beauchamp, 1979. Digital Methods for Signal Analysis. K.G. Beauchamp. George Allen & Unwin LTD.
- Fink e Christiansen, 1982. Electronics Engineers' Handbook, second edition. D.G. Fink, D, Christiansen. McGraw-Hill.
- Jandre, 1996. Laboratório Didático de Sistemas Lineares. Frederico C. Jandre de A. Tavares. Trabalho final de curso de engenharia eletrônica e de computação, UFRJ.
- Jandre et al, 1998. PALAS: An Integrated WWW Based Laboratory for Supporting the Teaching of Linear Systems. F.C. Jandre, J.M. Seixas. International Conference on Engineering Education, Rio de Janeiro, 5 páginas.
- Lathi, 1974. Signals, Systems, and Controls. B.P. Lathi. Intex Educational Publishers.
- Mager, 1975. Preparing Instructional Objectives. R.F. Mager. Fearon Publishers.
- Martins et al. A Remote Knowledge Repository System for Teaching and Learning. P.D. Martins, C. Maidantchik, L.T. Lemos, J.M. Seixas. International Conference on Engineering Education, Rio de Janeiro, 5 páginas.
- Millman e Taub, 1965. Pulse, Digital and Switching Waveforms. J. Millman, H. Taub. McGraw-Hill.
- National Instruments, 1998. LabVIEW, User's Manual. National Instruments, Inc.
- Oppenheim e Schafer, 1989. Discrete-Time Signal Processing. A.V. Oppenheim, R.W. Schafer. Prentice-Hall.
- Oppenheim et al, 1983. Signals and Systems. A.V. Oppenheim, A.S. Wilsky, I.T. Young. Prentice-Hall.
- PALAS, 1996. <http://www.lps.ufrj.br/~palas>.
- Seixas e Jandre, 1998. Uma Teia de Interconexão de Laboratórios Virtuais Segundo uma Concepção Multidisciplinar. J.M. Seixas, F.C. Jandre. COBENGE.