

Aprimorando o Ensino de Engenharia com Novas Abordagens Usando Recursos Computacionais

Veruska R. Moreira, Tiago Cinto, Harlei M.A. Leite e Dalton S. Arantes

Departamento de Comunicações - DECOM

Faculdade de Engenharia Elétrica de Computação - FEEC

Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Av. Albert Einstein, 400, Campinas - SP, Brazil, +551935210265

Email: {veruska, tcinto, hmleite, dalton}@decom.fee.unicamp.br

Resumo—Atualmente, o Brasil sofre uma preocupante carência de profissionais nas áreas de STEM (science, mathematics, engineering and technology). Estudos recentes mostram que os alunos do ensino médio não associam inovação e criatividade à área de engenharia. A criação e disseminação de novas metodologias de ensino podem desmistificar estas concepções equivocadas. Este trabalho apresenta um conjunto de ideias e de ferramentas computacionais que podem ser aplicadas ao ensino da engenharia e a certas aplicações específicas para motivação de alunos de nível médio. Para validar essa proposta, dois estudos de caso são apresentados na área de processamento digital de sinais.

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos têm surgido diversas discussões políticas e pedagógicas de ação educativa sobre novas metodologias de ensino para os cursos de engenharia. Estudos mostram que os estudantes do ensino médio podem perder o interesse nas áreas de STEM (science, mathematics, engineering and technology) por acreditarem que elas não são criativas ou inovadoras [1]. As mulheres, em particular, perdem o interesse nessas áreas muito cedo e isso acaba influenciando o processo de decisão de suas futuras profissões.

Estudos adicionais apresentados em [2] e [3] mostram que os estudantes têm uma percepção imprecisa sobre o papel e a responsabilidade do engenheiro. Para eles, os engenheiros instalam e consertam itens técnicos, como o motor de um carro, por exemplo, mas não estão envolvidos com inovação tecnológica. Os estudantes não associam diretamente engenharia com tecnologia e têm pouca compreensão de que a carreira de engenharia elétrica, por exemplo, envolve projeto eletrônico, projeto de sistemas, otimização de sistemas e processos, desenvolvimento de algoritmos, desenvolvimento de hardware e software, entre vários outros.

Este baixo interesse dos estudantes do ensino médio pela carreira de engenharia reflete diretamente no número de engenheiros graduados por ano. No Brasil, em particular, estima-se que haja uma carência de cinquenta mil profissionais, de acordo com a Confederação Nacional da Indústria (CNI). O país tem hoje cerca de seis engenheiros para cada mil pessoas economicamente ativas. Nos Estados Unidos e no Japão a proporção é de vinte e cinco engenheiros por mil trabalhadores, segundo a Financiadora de Projetos (FINEP) [4]. Nas universidades e no mercado de trabalho há intensas

discussões sobre a formação do engenheiro do presente e do futuro. No entanto, não há consenso sobre como enfrentar os desafios na formação deste profissional.

O processo de ensino tradicional consiste na exposição do conteúdo teórico e na realização de práticas com equipamentos tradicionais. No entanto, a geração atual de estudantes não parece disposta a continuar adotando uma atitude passiva em sala de aula, pois cresceram em um ambiente em que a interação ativa com os computadores, os videogames e os recursos da rede predomina. É justamente por este motivo que, além da fundamentação teórica tradicional, os modernos recursos computacionais e audiovisuais e a experiência de fazer (*hands-on*) já são considerados irreversíveis no ensino teórico e prático e não podem ser esquecidos em qualquer proposta séria de avanços na formação do engenheiro.

Há também a necessidade de se aprimorar as técnicas para atualização e treinamento dos engenheiros já formados. Neste caso, pode-se incentivar com mais ênfase as atividades práticas extra-classe e extra-curricular de maneira planejada e orientada, com o uso de diversas tecnologias para facilitar a comunicação [5]. Em [6] o autor menciona que a melhor maneira de aprender é colocando em prática o conhecimento adquirido diante das necessidades do dia a dia, na construção de uma entidade pública. Entende-se por entidade pública, o processo de construção de estruturas cognitivas apoiadas em algo tangível que resulta em um produto que pode ser externalizado, discutido, admirado, analisado e avaliado. Isso possibilita a difusão da informação, o trabalho colaborativo e a sinergia entre professores e alunos, o que estimula o processo de ensino e promove novas metodologias de aprendizado.

Atualmente, as novas metodologias e ferramentas de ensino exploram o conceito de aprender fazendo proposto por Papert em 1991. Para o curso de engenharia, especificamente, muitas instituições têm adotado a metodologia de aprendizado baseado em problema (PBL - *Problem Based Learning*), além do estímulo ao uso de ferramentas computacionais, tais como os WebLabs (laboratórios remotos), os laboratórios virtuais, kits de desenvolvimento e ferramentas colaborativas.

Em [1] é apresentado um *framework* baseado nas metodologias CDIO (*Conceive, Design, Implement and Operate*) e PBL que foi projetado para introduzir os alunos ao ensino de eletrônica e eletricidade, de forma integrada a outras

disciplinas como inglês, física, estudos sociais, educação e artes. O objetivo é introduzir uma componente criativa e interdisciplinar à educação STEM para que os estudantes possam se interessar mais pelo curso de engenharia elétrica.

Um conjunto de WebLabs para o curso de engenharia elétrica foi proposto em [7]. Esses laboratórios remotos foram planejados para abordar os tópicos de acionamento elétrico, eletrônica de potência e controle automático de iluminação a LED. Todos os experimentos foram realizados utilizando a plataforma de desenvolvimento Arduino [8].

Em [9] os autores propuseram alterar o currículo do curso de engenharia para adicionar uma disciplina chamada “Introdução à Engenharia”, oferecida a todos os calouros. A disciplina consiste de palestras, laboratórios, sessões de recitação e uma competição. Os estudantes foram também apresentados às principais responsabilidades de um engenheiro. Além disso, foram avaliadas as habilidades de comunicação, organização, trabalho em equipe, resolução de problemas, ética, e os conceitos básicos de seis disciplinas oferecidas no curso de engenharia. Os autores avaliaram o resultado do curso com base no *feedback* dos alunos por um período de 2 anos.

O presente trabalho propõe a utilização de ferramentas computacionais que podem aprimorar e flexibilizar o ensino do curso de engenharia. Estudos de casos envolvendo simuladores demonstrando vários aspectos do processo de sincronização digital em telecomunicações serão apresentados. Estas propostas surgiram de observações dos autores sobre o contexto atual de ensino e da experiência de aplicação de simuladores em disciplina de curso de pós-graduação na UNICAMP.

II. PROPOSTAS DE ENSINO

Atualmente, há um intenso uso de várias tecnologias e ferramentas computacionais no dia a dia. A proposta é aproveitar toda essa tecnologia disponível no ambiente de ensino. A interação com essas novas tecnologias viabiliza o acesso a um número extraordinário de informações que antes eram inacessíveis à maioria dos instrutores e alunos.

Com todo esse avanço e considerando que grande parte dos alunos de Engenharia tem acesso a dispositivos tecnológicos, pode-se pensar em uma metodologia educativa que valorize o ensino baseado na conceituação do conhecimento, em contraposição à simples memorização.

No entanto, para aproveitar os benefícios da tecnologia, deve-se ter um ambiente de ensino que possibilite a aplicação efetiva dessas novas metodologias. Isso envolve a criação de ferramentas computacionais para aprimorar o ensino e estimular a interação constante do aluno com os professores, monitores, colegas de classe e com as próprias ferramentas utilizadas em sala de aula.

A fim de explorar todo o aparato tecnológico é necessário adaptar as salas de aula, de forma a permitir o melhor uso de todos os recursos disponíveis. Pode-se utilizar salas de aula com projetores de alta definição, sistemas de som de alta fidelidade, lousa digital, dispositivos de interação para cada aluno (Tablets, Notebook, etc), acesso a rede de banda larga, dentre outros dispositivos que podem variar conforme a

tecnologia adotada. Isso deve seguramente incentivar os alunos e instrutores a usarem a tecnologia como um meio muito eficiente de estudo.

Também é necessário estimular os professores a criar novas metodologias que utilizem todos os recursos tecnológicos que possam ser usados em sala de aula. Parece de fundamental importância a formação de equipes de profissionais, envolvendo professores experientes e iniciantes, monitores de diversos níveis (mestrado, doutorado e pós-doutorado), para o oferecimento de disciplinas teóricas com abordagem prática, utilizando ferramentas de simulação, visualização e de interação.

Atualmente, a enorme quantidade de informação disponível na Internet parece muito além de nossa capacidade de explorá-la com eficiência. Desde simples imagens às extensas enciclopédias gratuitas, o conteúdo é vasto e imensurável. Com um clique de um mouse somado a alguns termos de busca, uma imensidão de conteúdo é retornada. Neste contexto, fazer uso deste arsenal todo é de grande valia para os professores. Incentivar os alunos a buscar conteúdo na Internet, além de ensinar técnicas de seleção e filtragem de conteúdos contribuem significativamente com o aprendizado e mostram aos aprendizes outro universo além dos livros didáticos e apostilas.

O incentivo ao desenvolvimento de projetos em equipes ou individuais, com apresentações em sala de aula, estimula os alunos a agirem ativamente e efetivamente no contexto da disciplina. Desta forma, os aprendizes são convidados a buscar fontes de conteúdo extra-classe visando entender o problema, além de desenvolverem e trabalharem suas próprias soluções, o que os torna, de certa forma, “experts” no assunto em questão. A apresentação e os debates dos projetos familiarizam os alunos com situações pedagógicas reais, pois são levados a assumirem o papel de tutores frente à sala, mesmo que por um curto período de tempo.

Por outro lado, o estímulo ao aprendizado de línguas estrangeiras e dos métodos de redação técnica e científica expandem significativamente o horizonte da experiência do aluno. Isto aumenta sua auto-estima e acrescenta a seu universo toda a informação disponibilizada nesses outros idiomas, estimulando a produção de conteúdo e a familiarização com redação acadêmica.

Se por um lado são propostas novas formas de uso das tecnologias e abordagens para o ensino e treinamento dos alunos, por outro, enfatiza-se a necessidade da criação de metodologias para aferir a eficiência das novas técnicas recém-descritas. Essas novas ferramentas e abordagens de ensino precisam ser avaliadas e verificadas quanto à sua validade. Algumas dessas propostas foram aplicadas no contexto de uma disciplina oferecida em curso de pós-graduação e se mostraram bastante satisfatórias. Os estudos de caso realizados são descritos na próxima seção.

III. ESTUDOS DE CASO

Os estudos de caso foram elaborados em Matlab e Simulink, como ferramentas de apoio à disciplina de pós-graduação

IE306-Sincronização em Telecomunicações e Sistemas Digitais, da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP, oferecida durante o segundo semestre de 2012. O primeiro deles se baseou em projetos de PLLs (*Phase Locked Loops*), enquanto o segundo visou o desenvolvimento de algoritmos de sincronização de surtos de dados (*bursts*), baseados em cadeias de Markov, para aplicações em comunicações digitais. Alternativamente, os simuladores também poderiam ser implementados em ambientes de software livre, tais como o SciLab, Octave, FreeMat e ScyPy, devido ao caráter independente de plataforma dos modelos trabalhados.

O primeiro estudo de caso desenvolveu circuitos de PLL para ilustrar aplicações típicas no contexto da disciplina. Com o uso das simulações foi possível visualizar e consolidar os conceitos teóricos aprendidos. O segundo deles desenvolveu ferramentas visuais de apoio ao ensino de sincronização de *bursts*. Por meio dele, era possível visualizar em tempo real as transições entre os estados de sincronização do sinal.

Abordagem semelhante de plataformas voltadas ao ensino foram propostas anteriormente por [10] e por [11]. No primeiro dos trabalhos em questão foi desenvolvido um laboratório remoto educacional (WebLab) com as ferramentas citadas anteriormente, permitindo ao usuário a interação com experimentos físicos e a execução de simulações, bem como verificação do comportamento dos cenários propostos com relação aos diversos parâmetros ajustáveis. No segundo trabalho discute-se um ambiente, também desenvolvido em Matlab, que permite o aprendizado e a análise de equações por meio de suas representações gráficas.

Visando ilustrar as soluções trabalhadas, pretende-se reproduzir parte das simulações efetuadas em aula na ocasião do evento. Pretende-se assim enfatizar a importância de visualizá-las de forma dinâmica em contraposição de somente descrevê-las em papel ou em quadro-negro. Serão produzidos vídeos curtos utilizando os melhores recursos de multimídia, de áudio e de imagem, de forma a tornar bem mais agradável a experiência proporcionada pelo conteúdo das simulações. Os vídeos serão gravados em alta definição e o áudio em alta fidelidade, sempre buscando utilizar os melhores timbres de voz disponíveis em sintetizadores de voz comerciais ou de domínio público. Maiores detalhes dos simuladores desenvolvidos são apresentados nas próximas seções.

A. Primeiro Estudo de Caso: Circuitos de PLL

Phase-Locked Loops (PLLs) são sistemas que usam retroalimentação para manter seus sinais de entrada travados em uma fase definida [12]. Sua aplicação é bastante recorrente em diversas áreas da eletrônica, podendo ser usado para controlar a frequência e/ou a fase de um sinal periódico. Algumas das aplicações que fazem uso dos PLLs são os sintetizadores de frequência, moduladores e demoduladores analógicos e digitais e circuitos de recuperação de relógio de sincronismo (*clock*).

No projeto de um PLL elementar são considerados os seguintes componentes: (1) Detector de fases: em geral, trata-se de um multiplicador aplicado sobre os sinais de entrada do

circuito e de saída do VCO; (2) Filtro de malha: trata-se de um filtro passa-baixas. É usado para suprimir o ruído e as altas-freqüências provenientes do detector de fases e (3) Oscilador controlado por voltagem (*Voltage Controlled Oscillator*, VCO): refere-se a um dispositivo não-linear que gera uma oscilação periódica. A frequência dessa oscilação pode ser controlada pela modulação de sua voltagem de entrada.

A organização dos componentes, bem como a forma como comunicam-se entre si, pode ser vista na Figura 1.

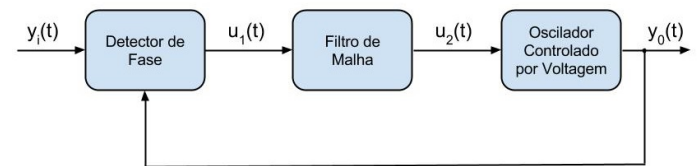


Figura 1. Phase-Locked Loop.

No circuito, $y_u(t)$ é o sinal de entrada, $y_o(t)$ é o sinal de saída com a frequência e/ou fase travada, $u_1(t)$ é o sinal de erro e $u_2(t)$ é o sinal de comando do VCO.

Com base no modelo de PLL apresentado na Figura 1 e em [13], várias implementações em Simulink foram realizadas com o objetivo de mostrar na prática o funcionamento dos circuitos de PLL. Os projetos foram desenvolvidos para permitir a alteração dos parâmetros dos circuitos e mostrar o impacto dessas alterações por meio de simulações com recursos gráficos em tempo real. Ricas e variadas visualizações desses efeitos são comprovadamente as melhores formas de assimilação e fixação de conceitos, além de serem extremamente motivadoras para os alunos.

A Figura 2 mostra um dos circuitos implementados em Simulink. Pode-se ver uma grande semelhança do circuito projetado com o circuito conceitual apresentado na Figura 1. Isso se deve ao fato do Simulink utilizar programação baseada em blocos, o que facilita a visualização do circuito desenvolvido e aumenta a produtividade do projetista de forma significativa. Na Figura 2b pode-se ver o sinal original e o sinal com a fase corrigida e na Figura 2c observa-se o gráfico da evolução temporal da resposta do sistema (à saída do filtro) durante o processo de aquisição do sincronismo de fase.

O simulador foi aplicado na disciplina com sucesso, talvez por fornecer uma interface interativa em que é possível alterar os parâmetros e visualizar seu impacto em tempo real, melhorando a didática em sala de aula e incentivando os alunos a comentarem o impacto gerado quando modificações de parâmetros eram introduzidas.

B. Segundo Estudo de Caso: Algoritmo Sincronizador em Transmissões por Surtos/Rajadas

Em comunicações digitais um *burst* (surto) de símbolos pode ser definido como um bloco contíguo de símbolos de duração finita. Para cada surto existem dois segmentos principais que o compõe: o preâmbulo e os dados, conforme disposto na Figura 3.

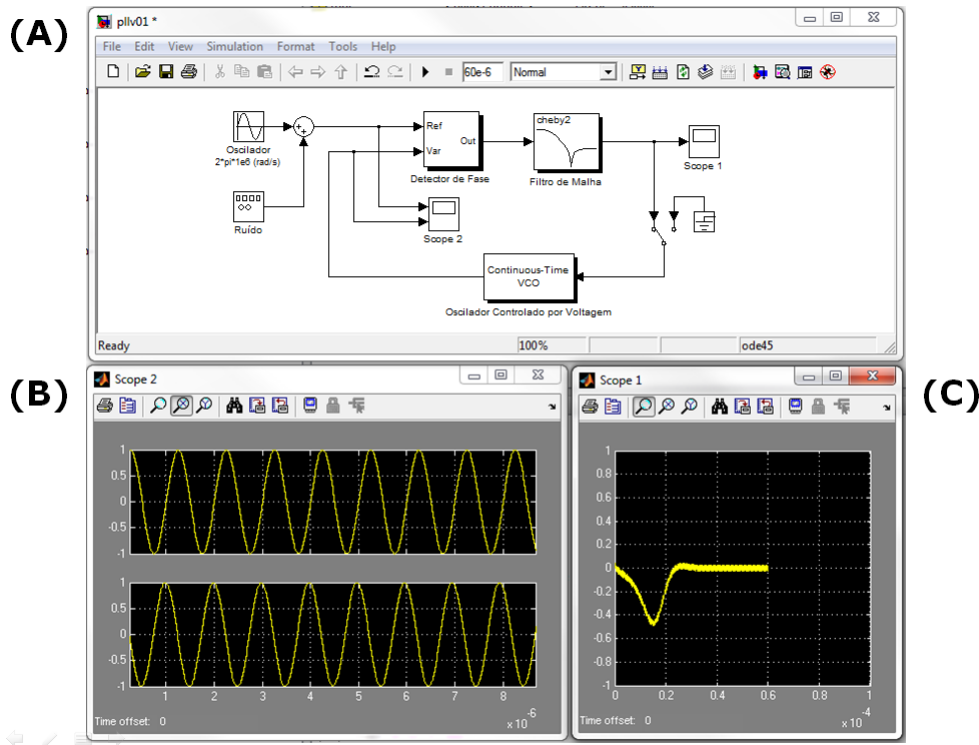


Figura 2. Simulação de um PLL em Simulink. (A) Circuito em Simulink; (B) Sinal Original e Sinal Sincronizado; (C) Evolução da Resposta Temporal do PLL.



Figura 3. Representação de um *Burst*.

O preâmbulo de um *burst* compreende informações de controle da rajada e utiliza uma sequência de símbolos conhecida. O segmento de dados, por sua vez, corresponde às informações de conteúdo a serem transmitidas. Para evitar a sobreposição de *bursts* neste modelo de transmissão, existe o chamado tempo de guarda, que corresponde ao espaço ocioso existente entre duas rajadas adjacentes. No tempo de guarda não há transmissão de dados nem de preâmbulo, somente ruído presente no canal de comunicação.

Dentre as principais tecnologias que utilizam transmissão por surtos, destacam-se:

- Ethernet;
- IEEE 802.11 (WiFi);
- WCDMA (3G);
- HSDPA (3,5G);
- LTE (4G).

De acordo com [14], os principais problemas de sincronização para estes tipos de transmissão correspondem à aquisição inicial do sincronismo, à retenção do sincronismo e à detecção da perda do sincronismo. O primeiro deles refere-se à capacidade do algoritmo de detectar corretamente o momento exato em que está havendo o recebimento de uma

rajada de dados. Demasiados atrasos nesse reconhecimento podem levar à perda de uma quantidade considerável de dados, dependendo do tamanho do *burst*. O segundo refere-se ao processo utilizado pelo algoritmo sincronizador para manter a sincronização do *burst* após sua aquisição inicial. Por fim, o último dos problemas trata da declaração correta da perda de um *burst*, seja essa por qualquer motivo envolvido válido.

Para [14], as características desejáveis de um algoritmo sincronizador devem ser:

- Rápida aquisição inicial do sincronismo;
- Rápida detecção de perda de sincronismo;
- Rápida recuperação da sincronização;
- Grande capacidade de retenção do sincronismo;
- Confiabilidade na indicação de que o sistema se encontra em sincronismo;
- Simplicidade do algoritmo de sincronização.

O modelo padrão de algoritmo de sincronização usado na literatura é representado por meio de uma cadeia de Markov [14]. Isto deve-se à necessidade da representação dos diversos estados em que a sincronização pode se encontrar num dado instante no tempo. Com base no modelo adotado pela literatura e buscando a adequação às necessidades de visualização propostas neste trabalho, foi desenvolvida uma cadeia gráfica de Markov animada, configurável e otimizada para ser usada em salas de aula com o intuito de demonstrar o processo de sincronização de maneira lúdica e simplificada aos alunos. O resultado desta proposta pode ser visto na Figura 4a.

Na ilustração, o estado B corresponde ao algoritmo bus-

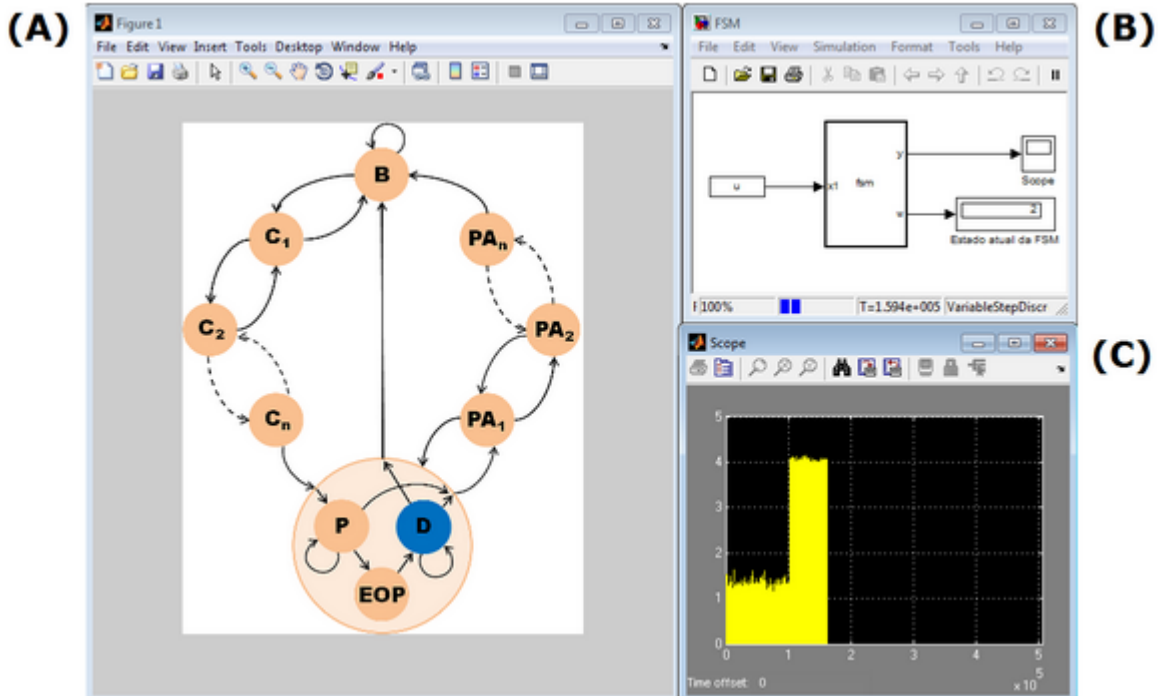


Figura 4. Segundo Estudo de Caso. (A) Cadeia de Markov; (B) Algoritmo de Sincronização; (C) Evolução Temporal da Magnitude do Sinal Recebido.

cando a chegada de um *burst* continuamente após iniciado. Os estados P , EOP e D , correspondem, respectivamente, à declaração da detecção da energia de um preâmbulo no receptor de comunicação, de sua marcação de final e de seu respectivo segmento de dados. Os estados C s (para cada $C_1, C_2 \dots C_n$) e PAs ($PA_1, PA_2 \dots PA_n$) representam, respectivamente, estados de confirmação que antecedem a declaração da chegada de um preâmbulo e de sua perda temporária.

Ao iniciar as simulações a cadeia de Markov (Figura 4a) é colocada em funcionamento ao lado do algoritmo sincronizador (Figura 4b) e do sinal recebido do canal de qual são transmitidos os dados (Figura 4c), modelados previamente. À medida em que a cadeia adquire/perde/mantém o sincronismo com o canal, as notificações aos alunos são feitas visualmente, por meio de transições entre os estados animadas em tempo real. Neste caso, modificações nos parâmetros do simulador também levam a cenários de funcionamento completamente diferentes. Em sala de aula constatou-se que visualizações desses efeitos dinâmicos são fundamentais para a assimilação e fixação de conceitos sobre sincronização de rajadas, além de serem intrinsecamente atraentes e lúdicos.

IV. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou estudos em andamento na criação de simuladores de auxílio ao aprendizado de engenharia. Da análise do contexto atual de ensino nas universidades à proposição de novas metodologias de ensino, diversos aspectos foram abordados. Ambos os simuladores descritos nos

estudos de casos encontram-se em funcionamento e foram aplicados em contexto real de disciplina de pós-graduação (IE308 - Tópicos em Comunicações III, Sincronização em Telecomunicações e Sistemas Digitais, da Faculdade de Engenharia Elétrica - FEEC, da UNICAMP). Feedback bastante positivo daqueles que presenciaram as simulações foram obtidos. Pretende-se, no entanto, realizar maiores estudos quanto à validação do grau de aceitação das ferramentas propostas. Como trabalho futuro, propõe-se a criação de laboratórios virtuais remotos (WebLabs) integrados aos simuladores para expandir a abrangência das ferramentas via Web e flexibilizar o aprendizado extra-classe dos alunos, possibilitando a realização remota de simulações e estudo de conteúdos.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Emily and B. Laleh, "Integrating creativity into elementary electrical engineering education using cdio and project-based learning," *IEEE International Conference on Microelectronic Systems Education (MSE)*, pp. 44–47, 2013, austin - TX - USA.
- [2] I. M. B. M. Capobianco, H. A. Diefes-Dux and J. Weller, "What is an engineer? implications of elementary school student conceptions for engineering education," *Journal of Engineering Education (JEE)*, vol. 100, no. 2, pp. 304–328, 2011.
- [3] A. M. K. J. Wilson and C. J. Herget, "Starting early: increasing elementary (k-8) student science achievement with retired scientists and engineers," *IEEE Transaction on Education*, pp. 26–31, 2010.
- [4] C. Nascimento, "Faltam 150 mil engenheiros no país," <http://economia.estadao.com.br/noticias/economia,faltam-150-mil-engenheiros-no-pais,131609,0.htm>, 21/10/2012, acessado em 09/08/2013.
- [5] V. R. Moreira, "Plataforma em hardware reconfigurável para o ensino e pesquisa em laboratório de sistemas digitais a distância," Mestrado, Departamento de Comunicações, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2009.

- [6] S. Papert and I. Harel, *Situating Constructionism*. Ablex Publishing Corporation, 1991.
- [7] O. K. P. Apse-Apsitis, A. Avotins and L. Ribickis, "Practically oriented e-learning workshop for knowledge improvement in engineering education," *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pp. 1–5, 2012, Marrakesh, Morocco.
- [8] Arduino, "Arduino," <http://www.arduino.cc>, 09/08/2013, accessed em 09/08/2013.
- [9] A. E.-H. G. H. F. Aloul, I. Zualkernan and Y. Al-Assaf, "A case study of a college-wide first year undergraduate engineering course," *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pp. 179–184, 2011, Amman - Jordan.
- [10] D. P. M. Casini and A. Vicino, "The automatic control telelab: a user-friendly interface for distance learning," *IEEE Transactions on Education*, vol. 46, no. 2, pp. 252–257, 2003.
- [11] F. Carreras and A. D. Snider, "A matlab educational software tool for teaching complex analysis in engineering," *Southeastcon '98. Proceedings. IEEE*, pp. 204–207, 1998.
- [12] R. D. Huntoon and A. Weiss, "Synchronization of oscillators," *Part of the Journal of Research of the National Bureau of Standards*, vol. 38, pp. 397–410, 1947.
- [13] MathWorks, "Demo: Phase-locked loop," <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/14868-phase-locked-loop-tutorial/content/html/plldemo.html>, 2013, accessed em 10/08/2013.
- [14] R. B. Filho, "Estratégias de sincronização de quadro para sistemas tdma," Mestrado, Departamento de Comunicações, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 1983.