



## O Papel do Laboratório de Eletrônica Digital como Disciplina Integradora de Competências para o Desenvolvimento de Projetos de Engenharia

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.5074

**Autores:** PAULO SERGIO CUGNASCA, ANTONIO VIEIRA DA SILVA NETO, EDSON TOSHIMI MIDORIKAWA, REGINALDO ARAKAKI

**Resumo:** As disciplinas de Laboratório de Eletrônica Digital estão entre as primeiras oportunidades práticas nas quais os alunos da graduação em Engenharia da Computação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo possuem conhecimento suficiente para desenvolver habilidades para a experimentação de projetos completos de engenharia. Dada essa oportunidade, as disciplinas do Laboratório de Eletrônica Digital foram estruturadas de forma a exercitar toda a taxonomia de Bloom por meio da Aprendizagem Baseada em Problemas na área de sistemas digitais. O objetivo deste artigo é detalhar como isso é alcançado por meio de duas ferramentas de ensino: experimentos incrementais e um projeto dirigido. Os alunos inicialmente aprendem e exercitam habilidades técnicas e colaborativas em uma série de experimentos incrementais que culminam no projeto de um jogo. Posteriormente, os alunos desenvolvem um projeto orientado, com liberdade para escolher o tema e planejar o desenvolvimento, e sob orientação dos professores para que os requisitos didáticos da disciplina sejam cumpridos. Os resultados alcançados nos oferecimentos de 2023 e 2024 dos cursos Laboratório de Eletrônica Digital indicam que os requisitos didáticos foram cumpridos com projetos que atenderam e até superaram as expectativas dos docentes. Futuras melhorias do Laboratório de Eletrônica Digital incluem sua adaptação a atividades extensionistas, de tal forma que os projetos desenvolvidos pelos alunos sejam revertidos para aplicações sociais.

**Palavras-chave:** Aprendizado Orientado a Problemas, Laboratório de Eletrônica Digital, Projeto de Engenharia, Sistemas Digitais, Taxonomia de Bloom.

# O PAPEL DO LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA DIGITAL COMO DISCIPLINA INTEGRADORA DE COMPETÊNCIAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE ENGENHARIA

## 1 INTRODUÇÃO

Com o incremento significativo de sistemas embarcados em múltiplas aplicações, como veículos autônomos, sistemas médicos e sistemas de entretenimento (LEE; YAMAWAKI, 2022; SILVA NETO *et al.*, 2022, 2023), a formação de engenheiros habilitados a lidar com tecnologias que permeiam esses sistemas torna-se crescentemente relevante na grade curricular de cursos de engenharia.

Na graduação em Engenharia de Computação provida pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, uma série de disciplinas teóricas e práticas estão voltadas ao desenvolvimento das competências e habilidades necessárias para essa finalidade. As duas disciplinas de Laboratório de Eletrônica Digital atualmente oferecidas, denominadas “Laboratório Digital I” (PCS3635) e “Laboratório Digital II” (PCS3645), situam-se entre as primeiras disciplinas do curso que trazem tal temática com aplicações práticas (USP, 2024). Elas são oferecidas como parte do primeiro e do terceiro quadrimestres do terceiro ano ideal da graduação, tal como evidenciado nos retângulos vermelhos da Figura 1.

Figura 1 – Contextualização do Laboratório Digital na Graduação em Engenharia de Computação

5º Semestre Ideal		Nota: 1º Quadrimestre do 3º Ano	Créd. Aula	Créd. Trab.	CH
<a href="#">4323303</a>	Física Experimental C		2	0	30
<a href="#">MAP3122</a>	Métodos Numéricos e Aplicações		4	0	60
<a href="#">PCS3616</a>	Sistemas de Programação		6	0	90
<a href="#">PCS3623</a>	Banco de Dados I		4	0	60
<a href="#">PCS3635</a>	Laboratório Digital I		4	2	120
<a href="#">PSI3031</a>	Laboratório de Circuitos Elétricos		4	0	60
<a href="#">PTC3007</a>	Sistemas e Sinais		4	0	60
6º Semestre Ideal		Nota: 2º Quadrimestre do 3º Ano	Créd. Aula	Créd. Trab.	CH
<a href="#">PCS3617</a>	Estágio Cooperativo I		1	16	495
7º Semestre Ideal		Nota: 3º Quadrimestre do 3º Ano	Créd. Aula	Créd. Trab.	CH
<a href="#">PCS3612</a>	Organização e Arquitetura de Computadores I		4	0	60
<a href="#">PCS3614</a>	Redes de Computadores I		4	0	60
<a href="#">PCS3643</a>	Laboratório de Engenharia de Software I		4	0	60
<a href="#">PCS3645</a>	Laboratório Digital II		4	2	120
<a href="#">PEA3399</a>	Conversão Eletromecânica de Energia		4	0	60
<a href="#">PSI3032</a>	Laboratório de Eletrônica I		4	0	60
<a href="#">PTC3019</a>	Engenharia de Comunicações		4	0	60

Fonte: Adaptado de USP (2024).

Ao longo de cinco décadas de ministração das disciplinas de Laboratório de Eletrônica Digital (RANZINI *et al.*, 2022), as duas disciplinas atuais passaram por transformações significativas no passado recente. Em meados da década de 2010, passou-se a incluir na ementa delas a realização de um projeto dirigido na fase final das disciplinas. A motivação dessa decisão é a de permitir que os alunos, ao escolherem temas de interesse próprio balizados por restrições técnicas e didáticas dos docentes para a disciplina, trabalhem espontaneamente competências e habilidades técnicas (*hard skills*) e colaborativas (*soft skills*) da área de engenharia.

Posteriormente, sob a égide das restrições sanitárias da pandemia de COVID-19, foi necessário desenvolver uma infraestrutura que viabilizasse a realização remota das disciplinas de Laboratório Digital sem afetar o desenvolvimento das competências e habilidades da prática que as permeia (ALMEIDA *et al.*, 2022). Essa infraestrutura baseou-se não só em tecnologias para que os alunos manipulassem os materiais didáticos do laboratório via Internet e de forma imersiva, mas também na orientação de que os projetos dirigidos fossem balizados pelo contexto de Internet das Coisas, uma vez que este permitiria a interação grupal e remota de alunos e professores nos desenvolvimentos. Por intermédio dessas decisões, foi possível cumprir os objetivos didáticos das disciplinas e, sobretudo, atualizá-las para atender a demandas científico-tecnológicas naturais da Quarta Revolução Industrial (ARAKAKI *et al.*, 2021).

Em seguida, com o arrefecimento da emergência sanitária de COVID-19 e o regresso das atividades presenciais a partir da segunda metade de 2022, as disciplinas de Laboratório Digital passaram por uma nova reformulação. Esta foi balizada por dois objetivos: maximizar a interação física entre os alunos e manter as atualizações curriculares promovidas durante os oferecimentos remotos. Nesse sentido, passou-se a estimular que os alunos vislumbrassem projetos que aproveitassem as seguintes características:

- a) Uso de sensores e atuadores típicos de sistemas embarcados, como botões de toque leve (*soft touch*), sensores de presença e distância, servomecanismos, motores DC (*Direct Current*), campainhas (*buzzers*), *displays* e matrizes de LEDs (*Light-Emitting Diodes*);
- b) Criatividade sensorial – tátil, sonora e visual – no projeto de mecanismos de interação de usuários (via *hardware* e *software*) e dos respectivos propósitos;
- c) Desenvolvimento de protótipos e maquetes valendo-se de recursos de corte a *laser* e impressão 3D, disponíveis aos alunos dentro da própria Escola Politécnica da Universidade de São Paulo;
- d) Escolha de temática atrativa para aplicações de caráter comercial, social e/ou lúdica (entretenimento comercial), justificável como projeto plausível de engenharia, e incluindo apresentações técnicas e comerciais em feira de projetos.

Dado o contexto prévio, o objetivo deste trabalho é apresentar como o oferecimento das disciplinas de Laboratório Digital da graduação em Engenharia de Computação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo caracteriza-se como entidade integradora de competências técnicas e colaborativas (*hard* e *soft skills*) para desenvolver projetos de engenharia por meio da estratégia de Aprendizado Baseado em Problemas (PBL – *Problem-Based Learning*). Embora essa característica seja extensível às duas disciplinas de Laboratório Digital oferecidas, o foco dado a este trabalho concentra-se na primeira disciplina, “Laboratório Digital I” (PCS3635), por ser o primeiro ponto de interação dos alunos com a dinâmica de trabalho adotada.

Para essa finalidade, este artigo está estruturado em três seções que sucedem esta introdução. Na seção 2, consta um panorama da organização da disciplina “Laboratório Digital I” (PCS3635), com a sua ementa e as suas principais características e atividades. Na sequência, a seção 3 é reservada ao detalhamento do projeto dirigido da disciplina, com a sua organização, as competências e habilidades trabalhadas, os critérios de avaliação e os resultados obtidos no biênio 2023-2024. Por fim, as conclusões do trabalho são apresentadas, em conjunção com futuros avanços, na seção 4.

## 2 ORGANIZAÇÃO DA DISCIPLINA DE LABORATÓRIO DIGITAL I: AULAS E COMPETÊNCIAS DESENVOLVIDAS

A disciplina de Laboratório Digital I é subdividida em duas partes. A primeira parte, que abarca as seis primeiras aulas da disciplina e duas aulas para a prova prática da disciplina – todas presenciais –, compreende o desenvolvimento de experimentos práticos e incrementais, orientados por atividades descritas em apostilas preparadas pelo corpo docente. Já a segunda parte, iniciada em paralelo com a prova prática da disciplina e que inclui duas aulas virtuais e cinco aulas presenciais até o final da disciplina, prevê o desenvolvimento de um projeto dirigido, com temática e planejamento concebidos pelos alunos a partir de restrições didáticas estabelecidas pelos professores.

Essa estratégia, além de ser aderente ao PBL, também estimula as seis camadas da taxonomia de Bloom. Nas experiências, os alunos relembam conceitos memorizados em disciplinas teóricas anteriores, refinando a compreensão deles e aplicando-os para analisar e avaliar os resultados obtidos. No projeto dirigido, os alunos dão um passo além e também criam seus projetos, estabelecendo um tema justificável e prototipando a solução do problema a ser resolvido.

Detalhes relacionados às atividades previstas em ambas as partes e às habilidades e competências desenvolvidas são apresentados nas próximas subseções. Cabe salientar, ainda, que a mesma estrutura da disciplina de Laboratório Digital I também é utilizada na disciplina Laboratório Digital II, que a sucede. As diferenças entre ambas estão relacionadas, notadamente, ao conteúdo programático dos experimentos, voltado à integração entre sistemas digitais, e à complexidade do projeto dirigido, incrementada em função dos experimentos que o antecedem.

### 2.1 Parte 1: As Experiências

Os experimentos realizados na primeira parte da disciplina foram idealizados com a finalidade de os alunos sedimentarem conceitos básicos de projeto de sistemas digitais já estudados, sob uma ótica teórica, em disciplinas de “Sistemas Digitais” cursadas nos dois primeiros anos da graduação em Engenharia de Computação. Para essa finalidade, os experimentos foram estruturados com uma sequência incremental, que culmina, atualmente, no desenvolvimento de um “Jogo do Desafio da Memória”, inspirado no modo de jogo “*Você Inventa a Sequência*” do brinquedo Genius (ESTRELA, 2024).

Os experimentos iniciam-se com uma familiarização com Circuitos Integrados (CIs) digitais da família TTL (*Transistor-Transistor Logic*) 74XXX com lógicas combinatória e sequencial, e evoluem para desenvolvimentos em FPGA (*Field-Programmable Gate Array*), usando uma linguagem de descrição de *hardware*, como Verilog e VHDL (*Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language*):

- Experiência 1 – Um Circuito Combinatório Simples (CIs TTL);
- Experiência 2 – Desenvolvimento um Circuito Digital (CIs TTL);
- Experiência 3 – Um Fluxo de Dados Simples (FPGA);
- Experiência 4 – Projeto de uma Unidade de Controle (FPGA);
- Experiência 5 – Desenvolvimento de Projeto de Circuitos Digitais em FPGA (FPGA);
- Experiência 6 – Projeto Base do Jogo do Desafio da Memória (FPGA);
- Experiência 7 (Prova Prática) – Projeto do Jogo do Desafio da Memória (FPGA).

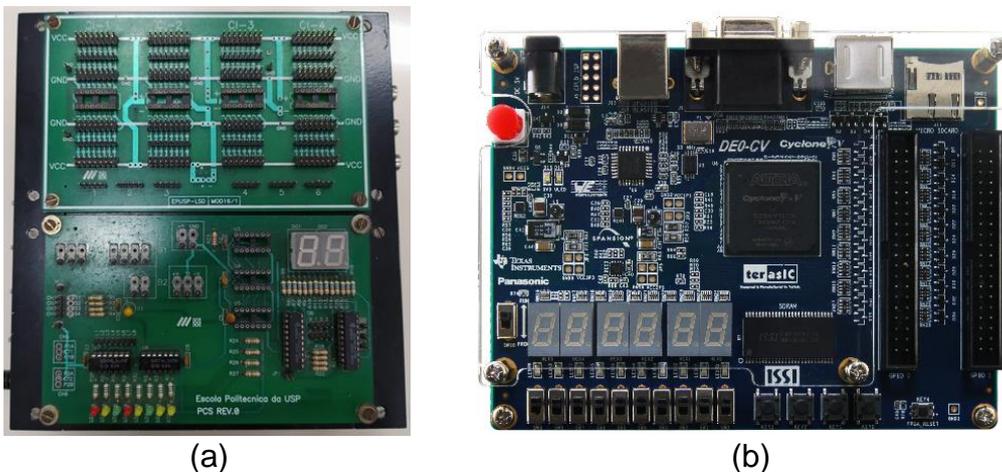
A condução dos experimentos prévios permite que competências e habilidades complementares aos conceitos de sistemas digitais sejam desenvolvidas. Pertence ao escopo das experiências de Laboratório Digital I estimular as seguintes habilidades e competências:

- Métodos estruturados e sistemáticos são fundamentais para a realização de projetos de engenharia (i.e., “projeto de engenharia não dá certo por tentativa-e-erro”);
- Estratégias de verificação e validação de projeto são essenciais para garantir que características funcionais e não funcionais estejam em conformidade com requisitos de engenharia – resultantes, no mundo real, de solicitações de potenciais clientes. Duas características, sobretudo, são reforçadas aos alunos. A primeira relaciona-se ao papel complementar exercido por testes e análises estática e dinâmica de projeto em assegurar que os requisitos de um projeto são cumpridos. A segunda, relacionada ao caráter incremental das experiências, é a de que a verificação e a validação de novas funcionalidades devem ser conduzidas não só por argumentos favoráveis às suas implementações, mas também se garantindo a não regressão das características preexistentes.
- Ferramentas de projeto são instrumentos relevantes para orientar o ciclo de vida de um sistema digital e otimizar a alocação de recursos técnicos e práticos para a realização das atividades.

No oferecimento de 2024 do Laboratório Digital I, os recursos técnicos utilizados nos experimentos foram os seguintes:

- Intel Quartus Prime para o desenvolvimento de sistemas digitais em Verilog;
- Intel ModelSim para a simulação dos sistemas desenvolvidos;
- CI's TTL da família 74XXX e painel de montagem de CI's (Figura 2(a));
- Placa FPGA terasic DE0-CV (vide Figura 2(b));
- Digilent Analog Discovery (modelos 1 e 2) para geração e monitoramento de sinais.

Figura 2 – Equipamentos do Laboratório Digital (a) Painel de CI's e (b) Placa DE0-CV



Fonte: Ranzini et al. (2022)

## 2.2 Parte 2: O Projeto Dirigido

Na segunda parte da disciplina, os alunos são expostos à realização de um projeto dirigido, em que os alunos são liberados para escolher o tema do trabalho e definir como as atividades de desenvolvimento serão distribuídas ao longo das aulas.

Nessa parte da disciplina, cabe ao corpo docente garantir que o projeto dos alunos atenda aos objetivos didáticos da disciplina e fornecer orientações que fomentem o desenvolvimento das habilidade e competências pretendidas. Entre elas, destacam-se a aplicação dos conceitos já assimilados nas experiências da primeira parte da disciplina, a especificação de um sistema digital e a elaboração de um protótipo.

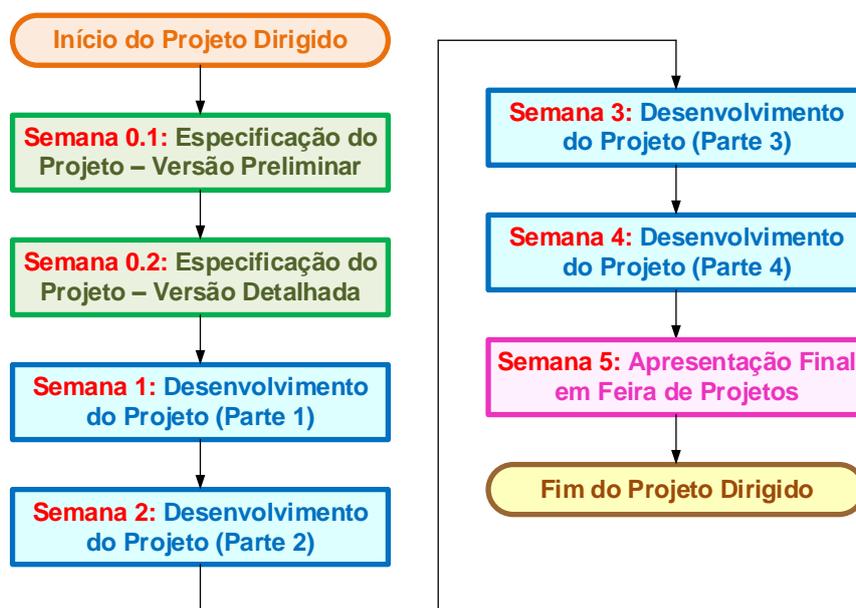
Mais detalhes sobre o projeto dirigido de Laboratório Digital I estão presentes na terceira seção deste artigo, iniciada na sequência.

### 3 DETALHAMENTO DAS ATIVIDADES DIDÁTICAS E AVALIATIVAS DO PROJETO DIRIGIDO DE LABORATÓRIO DIGITAL I

Desde o ano de 2023, o projeto dirigido da disciplina de Laboratório Digital I é conduzido ao longo de sete das 13 semanas de aulas regulamentares da disciplina. Ele é subdividido em três fases principais, representadas no fluxograma da Figura 3:

- Especificação do Projeto, com duração de duas semanas rotuladas como “Semana 0.1” e “Semana 0.2”;
- Desenvolvimento do Projeto, realizado de forma incremental ao longo das quatro semanas denominadas “Semana 1” até “Semana 4”;
- Apresentação Final em Feira de Projetos, correspondente à “Semana 5”.

Figura 3 – Fluxograma do Panorama do Projeto Dirigido



Fonte: Autoria própria.

A duração e a organização do projeto dirigido baseiam-se em duas características. A primeira delas é possibilitar que os alunos aprofundem, espontaneamente e sob a orientação do corpo docente, o desenvolvimento das competências e habilidades introduzidas e exercitadas nas experiências da primeira parte da disciplina. A segunda, por sua vez, é fomentar o autodesenvolvimento supervisionado de competências técnicas (*hard skills*) e colaborativas (*soft skills*) fundamentais para a atuação profissional em engenharia. Estas, por sua vez, incluem o desenvolvimento de especificações técnicas, a pesquisa proativa de tecnologias e soluções, a comunicação entre as partes interessadas de um projeto (i.e., desenvolvedor e cliente), o planejamento de atividades e a negociação ponderada de prioridades.

As características de cada uma das três fases do projeto dirigido são exploradas nas próximas subseções juntamente com resultados decorrentes da aplicação do fluxo de trabalho prévio aos oferecimentos de 2023 e 2024 da disciplina de Laboratório Digital I.

#### 3.1 Semanas 0.1 e 0.2: Especificação do Projeto

A primeira fase do projeto dirigido visa possibilitar que os alunos desenvolvam, a partir de diretrizes e da supervisão do corpo docente, uma especificação técnica de engenharia que descreva, com exatidão, o projeto a ser desenvolvido na disciplina. As características mínimas das especificações contemplam cinco itens:

- a) Definição do tema e do escopo do projeto, incluindo objetivos e a definição clara do problema de engenharia a ser resolvido e de suas fronteiras (i.e., “o que se deve resolver” e “o que não se pretende resolver”);
- b) Detalhamento dos recursos necessários para o projeto, como tempo/esforço dos alunos, orçamento financeiro e restrições estabelecidas em função dos objetivos didáticos da disciplina;
- c) Desenvolvimento da arquitetura do sistema, incluindo características estruturais (componentes de *hardware* e *software*) e comportamentais (interações entre componentes);
- d) Especificação dos requisitos do sistema a ser desenvolvido, seguindo o padrão ilustrado na Figura 4 e que inclui oito características:
  - i. Código de identificação unívoca do requisito (para fins de rastreabilidade);
  - ii. Sinalização do tipo de requisito (funcional ou não funcional);
  - iii. Nome do requisito;
  - iv. Descrição detalhada do requisito;
  - v. Indicação do grau de prioridade do requisito para o sucesso do projeto;
  - vi. Indicação do grau de estabilidade do requisito em função da fase do projeto;
  - vii. *Rationale* com o porquê de o requisito ter sido especificado e os meios para demonstrar seu cumprimento;
  - viii. Rastreabilidade de requisitos associados a serem cumpridos de antemão.
- e) Cronograma da fase de Desenvolvimento do Projeto, contemplando a rastreabilidade explícita dos requisitos a serem cumpridos em cada semana.

Figura 4 – Modelo de Requisito para a Especificação de Requisitos do Projeto

<b>Código:</b>	<input type="checkbox"/> Funcional	<input type="checkbox"/> Não Funcional
<b>Nome do Requisito:</b>		
<b>Descrição:</b>		
<b>Prioridade:</b>	<input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Baixa
<b>Estabilidade:</b>	<input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Baixa
<b>Rationale:</b>		
<b>Requisitos associados:</b>		

Fonte: Adaptado de Oberg, Probasco e Ericsson (2000).

Para que as especificações desenvolvidas pelos alunos satisfaçam as características prévias, duas aulas distintas são reservadas para que os itens propostos sejam iterativamente desenvolvidos pelos alunos. Antes de descrevê-las, cabe salientar particularidades relacionadas à oferta das aulas da especificação do projeto.

Em decorrência do calendário do Laboratório Digital e do cronograma de outras disciplinas cursadas pelos alunos no período ideal da graduação, as aulas de especificação do projeto são realizadas de forma remota e ocorrem nas mesmas datas e horários da prova prática da própria disciplina de Laboratório Digital I, que remete às experiências da primeira parte da disciplina. Para que todos os alunos de todas as equipes participem de uma das aulas da fase de Especificação do Projeto, os alunos são subdivididos em duas partições independentes:

- Participam da “Semana 0.1” os alunos que realizam a prova prática da disciplina na data da “Semana 0.2”;
- Participam da “Semana 0.2” os alunos que realizam a prova prática da disciplina na data da “Semana 0.1”;

- Garante-se que todos os grupos de alunos sejam representados por ao menos um integrante em cada uma das duas semanas.

Em função das particularidades prévias, as aulas remotas das Semanas 0.1 e 0.2 são subdivididas em três partes. Na primeira, o docente expõe aos alunos uma apresentação com duração aproximada de 1h cobrindo seis temas: (i.) as diferenças entre as experiências e o projeto dirigido, para conscientizar os alunos sobre as competências a serem desenvolvidas, (ii.) os objetivos didáticos do projeto, (iii.) o cronograma e a dinâmica das aulas do projeto, (iv.) os critérios de avaliação do projeto, (v.) sugestões de temas, baseadas em exemplos de projetos de sucesso de anos anteriores e temas correlatos, e (vi.) uma introdução teórica, com dicas práticas, sobre como realizar a especificação técnica de um projeto de engenharia. Essa apresentação é repetida nas Semanas 0.1 e 0.2 para uniformizar o conhecimento de todos os alunos.

Na segunda parte das aulas, os alunos dispõem de aproximadamente 1h30min para elaborarem a especificação dos projetos. Na Semana 0.1, solicita-se que os alunos realizem os itens “a)” até “c)” da especificação e deem início à especificação de requisitos do item “d)”. Já na Semana 0.2, os alunos utilizam como referência o desenvolvimento da Semana 0.1, acrescido de comentários da devolutiva docente da Semana 0.1, para refinar os itens anteriores – sobretudo “c)” – e cumprir os itens “d)” e “e)”.

Em ambas as aulas, os alunos podem, a qualquer momento, acionar o docente responsável para esclarecer dúvidas, tais como características técnicas do projeto e a viabilidade de realizá-lo dentro do cronograma da disciplina. As sessões de dúvidas são realizadas de forma privada, em uma sala de aula virtual distinta da utilizada nas apresentações plenárias.

Por fim, a terceira parte da aula, com duração aproximada de 1h10min, é destinada aos alunos apresentarem, tanto ao docente quanto aos demais colegas presentes, uma apresentação *elevator pitch* de até três minutos que resume os resultados produzidos durante a aula. Essa exposição serve não só para que os alunos exercitem suas habilidades de síntese e comunicação oral, mas também para que o docente teça comentários a grupos que, porventura, não desejaram dirimir dúvidas prévias.

Adicionalmente, a difusão pública do projeto à turma também permite que os alunos conheçam os projetos dos colegas e utilizem as realimentações públicas como baliza para autoavaliarem seus próprios trabalhos por meio do questionário da Tabela 1. Considera-se que essa autoavaliação beneficia a formação do aluno, uma vez que permite ao estudante conscientizar-se sobre suas habilidades e sinalizar, a si e aos docentes, melhorias a serem exploradas futuramente (DANSU; BRIJMOHAN; HUNSU, 2023).

Tabela 1 – Questionário de Autoavaliação das Aulas de Especificação de Projeto

Questão	Formato da Resposta
Resuma os aspectos da aula que você considerou mais relevantes.	Texto dissertativo livre para avaliar o grau de compreensão do aluno sobre a aula.
Você esteve presente, aproximadamente, em que porcentagem da aula de hoje?	Percentual de 0% até 100%.
Dê uma nota para a especificação detalhada do projeto do seu grupo, desenvolvida e entregue hoje.	Nota entre 0,0 e 10,0 com graduação decimal.
Dê uma nota para a sua apresentação <i>elevator pitch</i> da aula de hoje, levando em conta profundidade e atendimento ao limite de tempo instruído.	Nota entre 0,0 e 10,0 com graduação decimal.
Justifique suas avaliações.	Texto dissertativo livre para justificar as questões anteriores.

Fonte: Autoria própria.

### 3.2 Semanas 1 a 4: Desenvolvimento do Projeto

Uma vez findada a especificação do projeto, os alunos têm quatro aulas para desenvolver o projeto de forma incremental e em conformidade com o cronograma especificado no início do projeto.

O processo de preparação de cada aula inicia-se no final da aula anterior, com a realização extraclasse do planejamento das atividades da aula seguinte pelos alunos. Esse planejamento inclui, por exemplo, o projeto lógico do sistema, a realização de simulações e a elaboração e a montagem de maquetes a serem interligadas à infraestrutura do Laboratório Digital. O planejamento é entregue aos professores no dia anterior à aula para que seja avaliado e realimentado aos alunos no início da aula.

As aulas de desenvolvimento do projeto, por sua vez, são subdivididas em duas partes. No início da aula, cada grupo expõe à turma inteira uma apresentação *elevator pitch* de aproximadamente dois minutos e que deve resumir (i.) os avanços documentados no planejamento, (ii.) os principais problemas enfrentados e (iii.) os desenvolvimentos a serem realizados na aula. Essas apresentações são avaliadas pelos professores sob a ótica da eficiência em simularem comunicações breves e eficientes entre engenheiros (alunos) e seus respectivos superiores.

O restante da aula é reservado à realização das atividades práticas do projeto, acompanhadas pelos professores e com o suporte de monitores e técnicos do Laboratório Digital. Nessa etapa da aula, os alunos devem demonstrar aos professores o cumprimento dos requisitos previstos para a aula e documentar os resultados obtidos em um relatório técnico gerado a partir do planejamento da aula correspondente. Estimula-se que o relatório produzido em uma aula seja a base do planejamento da aula seguinte, uma vez que essa técnica de atualização incremental da documentação é utilizada em projetos de engenharia e também minimiza o esforço despendido pelos alunos para gerar o relatório final do projeto. Em tese, ele correspondente ao artefato documental finalizado na Semana 4.

Os professores também reforçam aos estudantes que, da mesma forma que um projeto real de engenharia está sujeito a revisões de características técnicas e de cronograma, os grupos também têm a liberdade para adaptarem parte da especificação do projeto. Dessa forma, grupos que enfrentarem dificuldades não antevistas no início do projeto são instados a revisar requisitos, arquitetura e cronograma e, por conseguinte, atualizar a documentação técnica do projeto com as alterações propostas. Desde que tais modificações sejam devidamente justificadas e avaliadas pelos professores como procedentes para manter o cumprimento dos objetivos didáticos da disciplina, elas podem ser implantadas pelos alunos sem qualquer prejuízo à avaliação.

### 3.3 Semana 5: Apresentação Final em Feira de Projetos

Uma semana após a conclusão da fase de desenvolvimento do projeto, os projetos dos alunos são avaliados em uma feira de projetos, realizada dentro das dependências do Laboratório Digital. A infraestrutura do laboratório é provida aos alunos no dia anterior à feira para que seja possível a eles realizarem a montagem dos projetos e testes que atestem o mesmo grau de funcionamento demonstrado na Semana 4.

A avaliação da feira de projetos é realizada por três categorias de profissionais: (i.) os docentes da disciplina de Laboratório Digital, (ii.) monitores e ex-monitores da disciplina (por exemplo, alunos de Pós-Graduação) e (iii.) convidados externos, que incluem profissionais da indústria e outros docentes do Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (PCS/Poli-USP). A depender da quantidade de avaliadores, formam-se três ou quatro bancas avaliadoras.

A dinâmica da feira de projetos prevê que os alunos apresentam seus projetos uma vez para cada uma das bancas avaliadoras. Essa apresentação é subdividida em três etapas, cada uma das quais com duração típica de 4 a 5 minutos: (i.) uma apresentação *elevator pitch* do projeto, (ii.) uma demonstração prática do projeto e (iii.) uma arguição dos membros da banca.

Nessas interações, as habilidades dos alunos são julgadas em relação a cinco critérios com igual peso na avaliação:

- C1** Qualidade da apresentação *elevator pitch*;
- C2** Qualidade técnica do projeto (i.e., correção funcional, uso de boas práticas de projeto, tratamento de casos de exceção, qualidade de interfaces com sensores e atuadores);
- C3** Qualidade técnica do protótipo (i.e., roteamento da fiação, robustez da maquete, interface homem-máquina usável e atrativa);
- C4** Habilidade de demonstração (domínio dos alunos sobre o próprio projeto);
- C5** Qualidade do projeto como “produto final” (i.e., até que ponto o projeto consiste em um produto de apelo comercial, social e/ou lúdico válido).

A média aritmética simples da soma dos cinco critérios C1 a C5 de todos os avaliadores da feira compõe parte da nota final do aluno na disciplina. Ela corresponde a 50% da nota do projeto, e os 50% restantes do projeto advêm da documentação técnica final entregue pelos alunos.

Além dos cinco critérios prévios, cada avaliador também atribui a cada grupo um índice numérico inteiro, no intervalo [0; 5], que sinaliza o grau de merecimento de menção honrosa à equipe. O valor atribuído a esse “índice de menção honrosa” é diretamente proporcional ao merecimento julgado pelo avaliador – i.e., “0” sugere oposição a uma honraria, ao passo que “5” sinaliza máxima recomendação de menção honrosa.

Ao final da feira, a avaliação dos grupos na feira de projetos é composta pela média aritmética da soma dos critérios C1 a C5 de todos os avaliadores. A concessão de menção honrosa, por sua vez, é concedida aos cinco projetos de maior destaque, ordenados por meio de três Critérios de Premiação (CPs):

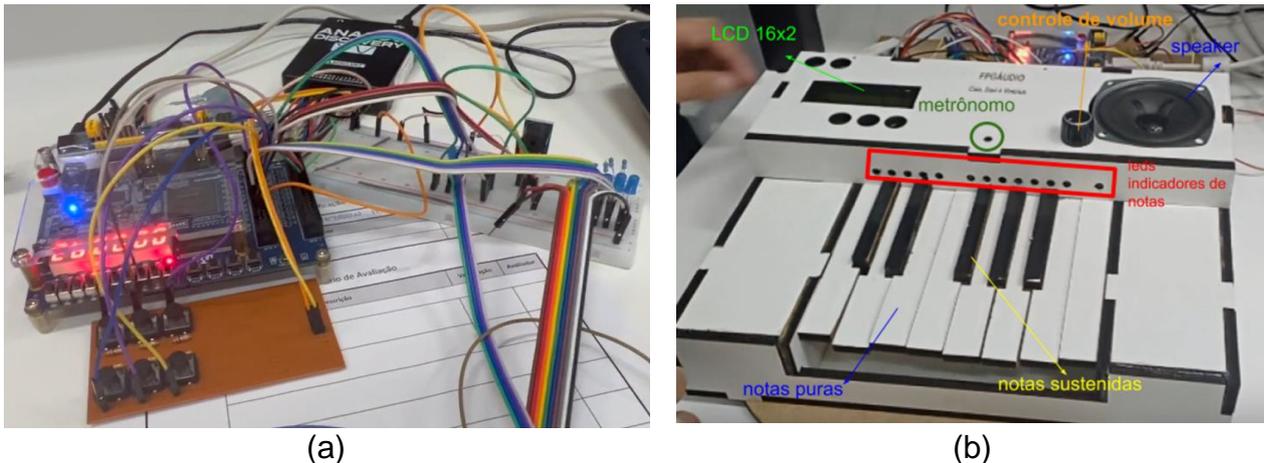
- CP1** Maior soma de índices de recomendação dos avaliadores;
- CP2** Em caso de empate em “CP1”, maior quantidade de recomendações máximas de menção honrosa (5);
- CP3** Em caso de empate em “CP1” e “CP2”, maior nota média segundo C1 a C5.

### 3.4 Resultados nos Oferecimentos de Laboratório Digital I de 2023 e 2024

A aplicação do método prévio de projetos dirigidos nos oferecimentos de Laboratório Digital I evidenciou que os alunos de ambos os anos compreenderem e exercitaram de forma apropriada um ciclo de vida típico de um sistema de engenharia. Esses resultados são reforçados não só por avaliações predominantemente positivas dos projetos, mas também em autoavaliações redigidas pelos próprios alunos, que evidenciaram como pontos positivos do projeto dirigido (i.) a transparência dos critérios de avaliação, (ii.) a sensação de aprendizado prático de como realizar um projeto de engenharia e (iii.) a orientação dos docentes, monitores e técnicos do Laboratório Digital na realização dos respectivos trabalhos.

Entre os projetos de destaque desenvolvidos, destacam-se os trabalhos intitulados “*Braille Teacher*” e “*FPGÁudio*”, que lideraram as menções honrosas nos oferecimentos de 2023 e 2024 da disciplina de Laboratório Digital I, respectivamente. Os protótipos desses sistemas são representados na Figura 5: (a) para “*Braille Teacher*” e (b) para “*FPGÁudio*”.

Figura 5 – Protótipos dos Projetos (a) “Braille Teacher” e (b) “FPGÁudio”



Fonte: (a) Tresolavy e Souza (2023), (b) Dourado, Lima e Silva (2024).

O projeto “*Braille Teacher*” trata-se de um sistema que visa promover o aprendizado da linguagem *Braille* e que dispõe de uma matriz de botões 3 x 2 que simboliza as protuberâncias de qualquer caractere em *Braille*. Esses botões devem ser pressionados ou aliviados pelo usuário a depender da letra comunicada como entrada ao usuário por meio de uma interface sonora. A lógica do sistema é implementada em FPGA e inclui, além da avaliação de acerto do caractere, um período de tempo de *timeout* para o usuário confirmar o caractere nos botões e um contador de erros cometidos (TRESOLAVY; SOUZA, 2023).

O projeto “*FPGÁudio*”, por sua vez, foi concebido com a finalidade de ser um dispositivo didático para promover o ensino lúdico de músicas para crianças partindo do conceito de intuição musical. O sistema, baseado em uma maquete construída em MDF (*Medium-Density Fiberboard*), é integralmente controlado por uma placa didática FPGA DE0-CV situada na parte interna do protótipo. Cabe à lógica implementada na placa FPGA executar músicas pré-programadas, acionar o metrônomo e os indicadores de nota e, por fim, reconhecer, nos múltiplos modos de interação, se o pressionamento das teclas pelo usuário está em conformidade com o resultado esperado (DOURADO; LIMA; SILVA, 2024).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a introdução do projeto dirigido na disciplina de Laboratório Digital I nos últimos anos, pôde-se perceber uma maior motivação dos alunos em realizar a disciplina, com dedicação, de uma forma geral, bem superior ao mínimo esperado pelo corpo docente. Se, por um lado, diminuiu-se a quantidade de experiências programadas na disciplina, cobrindo pontos específicos da área de Sistemas Digitais muitas vezes realizadas de forma compartimentada, sem conexão direta de uma experiência com a seguinte, por outro lado houve um ganho no sentido da integração entre as experiências realizadas na primeira parte e na sua relação com o projeto dirigido que vem na sequência.

O fato de o aluno saber qual o objetivo final da realização de todas as experiências, que vão culminar em um produto, faz com que todo o trabalho faça sentido e que todo o conhecimento adquirido seja importante. Ainda, a utilização desse produto para o desenvolvimento dos projetos dirigidos motiva-os a aprender de forma significativa, sem deixar nada para trás, resultando em aprovação de 100% dos alunos que realizam todas as atividades da disciplina.

Com isso, nota-se que a utilização de uma disciplina prática como um elo integrador entre outras disciplinas do mesmo período letivo é um potencial ponto a ser explorado no curso de graduação em Engenharia de Computação. Outras disciplinas, como Laboratório

de Eletricidade e Banco de Dados, têm potencial para integrar conhecimentos relevantes e de forma natural aos projetos dirigidos. Dessa forma, possibilita-se não só a utilização de horas de mais de uma disciplina para o desenvolvimento dos projetos, mas também a avaliação de alguns aspectos do projeto por múltiplas disciplinas.

Como trabalhos futuros, espera-se integrar as atividades desenvolvidas nos projetos dirigidos com atividades extensionistas, de modo que problemas temáticos do mundo real possam ser explorados e desenvolvidos, em protótipo, nas disciplinas de Laboratório Digital. Estes, por sua vez, poderiam ser viabilizados por outras atividades extensionistas subsequentes, realizadas por esses próprios alunos e/ou outros alunos.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Computação e Sistemas Digitais (PCS) da Escola Politécnica da USP o apoio prestado ao oferecimento das disciplinas de Laboratório Digital e a todos os alunos, monitores e técnicos do Laboratório Digital, cujos mérito e dedicação culminaram nos relatos do presente artigo.

### REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Felipe Valencia de *et al.* Teaching Digital Electronics during the COVID-19 Pandemic via a Remote Lab. **Sensors** v. 22, n. 18, p. 6944 (1-24), 2022. DOI: 10.3390/s22186944.

ARAKAKI, Reginaldo *et al.* Avaliação do Oferecimento à Distância de Laboratório de Eletrônica Digital por meio de Objetivos de Aprendizagem e Métricas do AVA. In: XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2021, *Online*. **Anais**. *Online*. DOI: 10.37702/COBENGE.2021.3566.

DANSU, Viyon; BRIJMOHAN, Yashin; HUNSU, Nathaniel. Exploring the Alignment of Instructor's Intent and Students' Perception of Using Self-Assessment in an Engineering Undergraduate Course. In: ASEE Annual Conference and Exposition, 2023, Baltimore. **Anais**. Baltimore. Disponível em: <https://nemo.asee.org/public/conferences/327/papers/37745/view>. Acesso em 09 mai. 2024.

DOURADO, Caio Escórcio Lima; LIMA, Davi Félix de; SILVA, Vinícius Batista da. **FPGÁudio**. 2024. Monografia (PCS3635 – Laboratório Digital I) – Curso de Engenharia de Computação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

ESTRELA. **Genius – Um Jogo Eletrônico Emocionante!**. 2024. Disponível em: <https://estrela.vteximg.com.br/arquivos/Manual-Jogo-Genius.pdf>. Acesso em 14 mai. 2024.

LEE, Kilryong; YAMAWAKI, Akira. Development of High-Level Synthesis Oriented Background Scroll Function Considering Hierarchy of Game Display Frame. In: 2022 IEEE Region 10 Conference (TENCON), 2022, Hong Kong. **Anais**. Hong Kong. DOI: 10.1109/TENCON55691.2022.9977798.

OBERG, Roger; PROBASCO, Leslee; ERICSSON, Maria. **Applying Requirements Management with Use Cases – Technical Paper TP505**. 2000. Disponível em: <https://www.tesestec.com.br/pasteurjr/rup/papers/pdf/apprmuc.pdf>. Acesso em: 09 mai. 2024.

RANZINI, Edith *et al.* Meio Século de Evolução em uma Disciplina de Laboratório de Eletrônica Digital. In: In: L Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2022, *Online*. **Anais**. *Online*. DOI: 10.37702/COBENGE.2022.3996.

SILVA NETO, Antonio Vieira da *et al.* Safety Assurance of Artificial Intelligence-Based Systems: A Systematic Literature Review on the State of the Art and Guidelines for Future Work. **IEEE Access**, v. 1, p. 130733-130770, 2022. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3229233.

SILVA NETO, Antonio Vieira da *et al.* Design and Assurance of Safety-Critical Systems with Artificial Intelligence in FPGAs: The Safety ArtISt Method and a Case Study of an FPGA-Based Autonomous Vehicle Braking Control System. **Electronics**, v. 12, n. 24, p. 4903 (1-32), 2023. DOI: 10.3390/electronics12244903.

TRESOLAVY, Igor Pontes; SOUZA, Thiago Antici Rodrigues de. **Braille Teacher**. 2023. Monografia (PCS3635 – Laboratório Digital I) – Curso de Engenharia de Computação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

USP. **Jupiterweb – Grade Curricular da Graduação em Engenharia de Computação – Escola Politécnica**. Disponível em <https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/jupCarreira.jsp?codmnu=8275>. Acesso em 14 mai. 2024.

## THE ROLE PLAYED BY THE DIGITAL ELECTRONICS LABORATORY AS A SKILL-INTEGRATING DISCIPLINE TOWARDS DEVELOPING ENGINEERING PROJECTS

**Abstract:** *The Digital Electronics Laboratory disciplines are among the earliest practical opportunities in which Computer Engineering undergraduate students of Escola Politécnica da Universidade de São Paulo have enough knowledge to develop skills towards experimenting full engineering projects. Given this opportunity, the Digital Electronics Laboratory disciplines have been structured in such a way to exercise the entire Bloom taxonomy by means of Problem-Based Learning within the digital systems field. The objective of this paper is to detail how this is achieved by means of two teaching tools: incremental experiments and a guided project. Students initially learn and exercise hard and soft skills on a series of incremental experiments towards a game-based project. Afterwards, students develop a guided project by choosing its theme and planning it at their own discretion, under professors' guidance and provided they meet the discipline's didactic requirements. The results achieved in the 2023 and 2024 offerings of the Digital Electronics Laboratory courses indicate that the intended didactic requirements have been accomplished with projects that fulfilled and even surpassed expectations. Future improvements of the Digital Electronics Laboratory include adapting it to extension activities, so that the projects developed by students are reverted to societal applications.*

**Keywords:** *Bloom Taxonomy, Digital Electronics Laboratory, Digital Systems, Engineering Project, Problem-Oriented Learning.*

