

Proposta de metodologia para a aplicação do aprendizado baseado em problemas no ensino dos conteúdos de eletrônica digital

Samaherni Dias ^{*,*} Kurios Queiroz ^{*} Anfranserai Dias ^{**}

^{*} Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, Brasil.

^{**} Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana-BA,
Brasil.

Abstract:

Problem-based learning (PBL) is one of the most innovative pedagogies and is currently one of the most widespread in the world. It uses an instructional approach centered on the student, which is responsible for, from the investigation of ill-structured problems, self-directing and self-regulating their learning, with the teacher playing the role of a learning facilitator. This work proposes a methodology for the application of PBL in the teaching of digital electronics content for undergraduate courses. The proposed methodology fits PBL to the new required competence in Brazilian engineering courses, expanding the students' skills. Finally, we present the results of evaluation forms of two disciplines using the proposed methodology.

Resumo:

A aprendizagem baseada em problemas (PBL) é uma das pedagogias mais inovadoras e atualmente uma das mais difundidas pelo mundo. A mesma utiliza uma abordagem instrucional centrada no aluno, na qual este é responsável por, a partir da investigação de problemas instrucionais mal estruturados, autodirigir e autorregular sua aprendizagem, tendo o professor o papel de um facilitador da aprendizagem. Neste trabalho é proposta uma metodologia para a aplicação da PBL no ensino de conteúdos de eletrônica digital para cursos de graduação. A metodologia proposta ajusta a PBL às necessidades do novo perfil de egresso para os cursos de engenharia no Brasil, levando-se em conta as necessidades de expandir as competências dos egressos. Por fim, resultados obtidos da aplicação da metodologia em dois componentes curriculares serão apresentados e discutidos.

Keywords: problem based learning; engineering competences; digital electronics; undergraduate;

Palavras-chaves: aprendizagem baseada em problemas; competências do engenheiro; eletrônica digital; graduação;

1. INTRODUÇÃO

A aprendizagem baseada em problemas (*Problem-Based Learning* - PBL), concebida e implementada há mais de cinco décadas, foi considerada uma das pedagogias mais inovadoras e continua a ser adotada e difundida em todo o mundo, aumentando a competência e a prontidão dos alunos para os desafios da vida real (Moallem et al., 2019).

O princípio básico da PBL é o uso de problemas realistas como o ponto de partida da aprendizagem autodirigida e baseada em pequenos grupos, guiada por um tutor que atua como um guia do processo ao invés de um instrumento de transferência de conhecimento (Barrows e Robyn M. Tamblyn, 1980). Na PBL, espera-se que os alunos passem a maior parte do tempo estudando sozinhos ou com os colegas, e não sob a orientação de um professor, o que significa que o uso das aulas deve ser limitado e o acesso a recursos de aprendizagem de qualidade garantido (Servant-Miklos et al., 2019).

A PBL, embora tenha sido concebida há mais de cinquenta anos, se mantém como um tema atual com um crescente número de publicações científicas nos últimos anos. Em uma busca na base de dados Scopus, pelos termos "*Problem-based learning*" associado ao termo "*Education*" em títulos, resumo ou palavras chave, foram encontrados mais de dezesseis mil documentos, sendo que praticamente um terço destes documentos foram publicados nos últimos cinco anos, mais de doze mil foram publicados em periódicos e a maioria está relacionado a área de ciências sociais, seguidas das áreas de medicina, engenharias e ciências da computação.

A primeira instituição a utilizar a PBL foi a McMaster University no Canadá em 1969, seguida pela Maastricht University na Holanda em 1974, sendo que em ambas a PBL foi utilizada no ensino da medicina (Servant-Miklos et al., 2019). A aprendizagem baseada em problemas (PBL) tem sido adotada por universidades e faculdades em uma ampla gama de componentes curriculares tais como: engenharia, enfermagem e no treinamento de professores.

* <https://laci.ufrn.br>

Atualmente, cerca de 500 currículos em todo o mundo usam a PBL (Moust et al., 2021).

Nas engenharias, desde dos anos noventa a PBL vem sendo aplicada e como exemplo de caso de sucesso, tem-se a Universidade de Aalborg, na Dinamarca (Servant-Miklos et al., 2019). A aplicação da PBL na engenharia é abordada em vários trabalhos da literatura (Yadav et al., 2011; Mason et al., 2013; Kolmos e de Graaff, 2014; dos Santos et al., 2021).

Em Yadav et al. (2011), os autores investigam o impacto da PBL em alunos de um curso de graduação em Engenharia Elétrica e avaliam suas percepções do aprendizado através do uso da PBL comparado ao método tradicional de aulas expositivas. Os resultados obtidos sugeriram que os ganhos de aprendizagem dos participantes com a PBL foram o dobro dos ganhos com as aulas tradicionais.

Em Mason et al. (2013), os autores realizaram uma comparação da eficácia do uso de sala de aula invertida em comparação ao ensino tradicional, com aulas expositivas, em três áreas: 1) cobertura do conteúdo; 2) desempenho do aluno em questionários tradicionais e provas; e 3) observações e percepção dos alunos sobre o formato da sala de aula invertida. Os resultados mostram que: 1) a sala de aula invertida permitiu ao instrutor cobrir mais material; 2) os alunos que participaram da sala de aula invertida tiveram um desempenho tão bom ou melhor em exames e na solução de problemas menos estruturados; e 3) embora os alunos inicialmente tenham lutado com o novo formato, eles se adaptaram rapidamente e acharam o formato de sala de aula invertido satisfatório e eficaz.

Em Kolmos e de Graaff (2014), os autores buscam explicar as diferenças entre a PBL e a aprendizagem baseada em projetos, quando aplicados a cursos de engenharia, para auxiliar os professores e gestores educacionais a fazerem escolhas inovadoras e, além disso, prover *benchmarks* para os pesquisadores na área da educação.

No trabalho de dos Santos et al. (2021) é realizado um estudo sistemático sobre duas décadas da pedagogia PBL no ensino de computação. Com base nesses estudos, os autores verificaram uma maior adoção da PBL na graduação e uma grande diversidade de estratégias envolvendo problemas do mundo real, desenvolvendo habilidades técnicas e não técnicas e deixando o aluno muito mais motivado e engajado. Os autores também apontaram os desafios para a implantação da PBL e a necessidade de novos estudos.

Uma iniciativa que se pode destacar no Brasil é a aplicação da PBL na Universidade Estadual de Feira de Santana, na qual o curso de engenharia da computação foi o primeiro a apresentar um currículo baseado em PBL (Oliveira et al., 2010).

Um outro ponto a se destacar na atualidade é a mudança nos requisitos da formação dos engenheiros. Em Kolmos et al. (2016) são apresentadas estratégias para a mudança nos currículos dos cursos de engenharia para atender a busca por melhorar o ensino com relação a novas competências. Segundo os autores, a necessidade de um currículo integrado para resolução de projetos mais amplos e menos estruturados, habilidades na resolução de problemas e em negócios, capacidade e conhecimento técnico,

são itens requeridos por diversos órgãos representativos das engenharias como, por exemplo, *International Engineering Alliance (IEA)*, *American Board for Engineering and Technology (ABET)*, *European Accredited Engineer (EURACE)* e *Engineers Australia (EA)*.

Um trabalho interessante sobre as competências requeridas nas engenharias é o trabalho de Kolmos et al. (2018). Neste trabalho, os autores estudam as mudanças nas perspectivas sobre a competência em engenharia na transição da educação ao trabalho. Os autores indicam que os alunos de engenharia, após 10 meses de formados, mudam suas perspectivas sobre as competências requeridas aos engenheiros, o que, segundo os autores, indica a necessidade de alinhamento entre os atuais currículos de engenharia e os requisitos profissionais.

No Brasil, esta preocupação com as competências do engenheiro também é uma realidade, e ficou bem evidente na última revisão das Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia (Brasil, 2019) realizada pelo Ministério de Educação (MEC). As diretrizes definem que o perfil do engenheiro entre outras coisas deve possuir as seguintes características: ter visão holística e humanista, ser crítico, reflexivo, criativo, cooperativo, ético e com forte formação técnica; estar apto a pesquisar, desenvolver, adaptar e utilizar novas tecnologias, com atuação inovadora e empreendedora; adotar perspectivas multidisciplinares. As diretrizes também definem que os cursos de engenharia devem proporcionar a seus egressos um conjunto de competências, dentre as quais pode-se citar: conceber, projetar e analisar sistemas, produtos (bens e serviços), componentes ou processos; comunicar-se eficazmente nas formas escrita, oral e gráfica; trabalhar e liderar equipes multidisciplinares; aprender de forma autônoma e lidar com situações e contextos complexos, atualizando-se em relação aos avanços da ciência, da tecnologia e aos desafios da inovação.

As diretrizes ainda sugerem que, na organização dos cursos de engenharia do Brasil, deve-se estimular o uso de metodologias para aprendizagem ativa, como forma de promover uma educação mais centrada no aluno. Além disso, deve-se estimular as atividades que articulem simultaneamente a teoria, a prática e o contexto de aplicação, necessárias para o desenvolvimento das competências, estabelecidas no perfil do egresso. Também devem ser implementadas, desde o início do curso, atividades que promovam a interdisciplinaridade e a integração dos conhecimentos e de competências. Por fim, é recomendável que as atividades sejam organizadas de modo que aproxime os estudantes do ambiente profissional.

Este trabalho tem o objetivo de apresentar uma proposta de metodologia para a aplicação da pedagogia PBL no ensino dos conteúdos de eletrônica digital para os alunos do curso de graduação em engenharia mecatrônica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Esta iniciativa faz parte de um projeto piloto para avaliar a adoção da PBL em outras disciplinas da área de eletrônica no curso. Nesta iniciativa, a metodologia proposta levará em conta as novas exigências do MEC com relação às competências estabelecidas no perfil do egresso. Além disso, serão apresentados os resultados já obtidos através da aplicação nas componentes curriculares de sistemas e circuitos digitais.

2. APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

Para Moallem (2019), a aprendizagem baseada em problemas (*Problem-Based Learning* - PBL) é definida como um método de ensino e aprendizagem na qual os alunos se envolvem na resolução de um problema do mundo real sem estudo preparatório e com conhecimento prévio pouco. Porém suficiente, para resolver o problema, exigindo que eles estendam o conhecimento e compreensão existentes enquanto trabalham em grupos, facilitado por um tutor ou professor, e aplique sua compreensão aprimorada para gerar uma solução para o problema.

Já Savery (2006) define a PBL como uma abordagem instrucional (e curricular) centrada no aluno que capacita os alunos a conduzir pesquisas, integrar teoria e prática e aplicar conhecimentos e habilidades para desenvolver uma solução viável para um problema definido, sendo fundamental para o sucesso da abordagem a seleção de problemas mal estruturados e um tutor que orienta o processo de aprendizagem e conduz os debates na conclusão da experiência de aprendizagem.

Embora as definições com relação a PBL possa possuir pequenas variações dependendo do autor, suas características essenciais permanecem as mesmas e, segundo Savery (2006), são elas: 1) o papel do tutor como um facilitador da aprendizagem; 2) as responsabilidades dos alunos são autodirigidas e autorreguladas em sua aprendizagem; e 3) os elementos essenciais na concepção de problemas instrucionais mal estruturados como o força motriz para investigação.

Na PBL, o professor ajuda a orientar o processo de aprendizagem por meio de perguntas abertas destinadas a fazer com que os alunos tornem seus pensamentos realizáveis e a manter todos os alunos envolvidos no processo (Hmelo-Silver, 2004). A aprendizagem autodirigida pode ser promovida permitindo o controle do aluno sobre os aspectos do processo de aprendizagem, incluindo a definição de metas e objetivos, planejamento do cronograma de aprendizagem, escolha com quem trabalhar, decidindo o que e como eles vão aprender e como os resultados serão avaliados (Williams e Williams, 1997). São considerados problemas mal estruturados os problemas que ocorrem no mundo cotidiano, ou seja, problemas complexos, emergentes e interdisciplinares, que têm soluções e caminhos de solução múltiplos (Jonassen, 2010).

Outras características da PBL que merecem destaque são (Savery, 2019): a aprendizagem deve ser integrada a partir de uma ampla gama de disciplinas ou assuntos; a colaboração é essencial; uma análise final do que foi aprendido com o problema e uma discussão de quais conceitos e princípios foram aprendidos são essenciais; a autoavaliação e a avaliação pelos pares devem ser realizadas no final de cada problema e no final de cada unidade curricular; as atividades realizadas na aprendizagem baseada em problemas devem ser aquelas valorizadas no mundo real; os exames dos alunos devem medir o progresso do aluno em relação aos objetivos da aprendizagem baseada em problemas.

A PBL no ensino superior tem sido muito utilizada e existem diferentes formas de aplicá-la, sendo que pode-se destacar quatro delas: PBL como simulação de práticas profissionais; PBL como modelo de construção mental;

PBL como aprender a aprender; PBL como aprender fazendo. A simulação de práticas profissionais tem suas origens na educação médica e foi popularizada por Barrows que utilizava a PBL para preparar estudantes de medicina para seus anos clínicos e, posteriormente, para o trabalho clínico (Wijnia et al., 2019). Neste trabalho nos concentramos na PBL como modelo de construção mental e aprender a aprender, porque não é adequado utilizar a simulação de práticas profissionais a todas as áreas do conhecimento. A abordagem utilizada aqui será a dos sete passos, proposta na Maastricht University, Holanda (Wijnia et al., 2019).

A abordagem dos sete passos permite que os alunos resolvam problemas durante duas reuniões de grupo por semana, guiados por um tutor. Durante a primeira reunião do grupo, os alunos são apresentados ao problema. Depois de ler o problema, os alunos realizam os cinco primeiros passos: 1) esclarecimento de conceitos desconhecidos, 2) formulação de uma definição de problema, 3) *brainstorming* sobre o problema, 4) análise do problema e 5) formulação de questões de aprendizagem para um estudo autodirigido posterior. Após a primeira reunião do grupo vem o sexto passo que é utilizar as questões formuladas para selecionar e estudar recursos de literatura relevantes. Finalmente após o estudo dirigido os alunos vão ao passo 7 que é compartilhar suas descobertas e sintetizar a solução para o problema.

Existem variações da abordagem dos sete passos. Alguns exemplos de variações são o *Optima 7-Jump*, *Malmö model*, *Eight Step approach*, entre outras. A abordagem dos sete passos tem inspirado até proposições em outras formas de aplicar a PBL como é o caso do *Linköping model* que utiliza a PBL como aprender a aprender.

Diferente da PBL, no ensino tradicional, é o professor que seleciona os conhecimentos que os alunos irão estudar com o objetivo de transmitir o máximo de grupos de conhecimentos a estes alunos, os quais, após absorver todos os conhecimentos, estão preparados para solucionar uma grande gama de problemas. Este processo chamaremos de ensino passivo, pois não é o aluno quem define o seu processo de aprendizagem, ele apenas segue passivamente o processo de aprendizagem elaborado por um tutor experiente naquele conjunto de conhecimentos. É importante reconhecer que o ensino tradicional pode ser muito eficiente dependendo do conteúdo, permitindo uma rápida expansão do conhecimento de um conjunto de indivíduos em um curto espaço de tempo.

Embora o ensino tradicional apresente qualidades, ele tem sofrido bastantes críticas ao longo dos tempos, algumas delas estão compiladas nos trabalhos de Rotgans e Schmidt (2019) e Yadav et al. (2011). São exemplos de críticas encontradas nestes trabalhos:

- a tragédia é que a aula tradicional é enfadonha, não porque o assunto seja enfadonho por definição, mas por causa de como é oferecido aos alunos;
- a aprendizagem tradicional é muito abstrata e monótona, deixando os alunos com uma sensação de tédio e falta de motivação porque são apresentadas as informações aleatórias sem nenhum fator unificador;
- na aprendizagem tradicional o conhecimento não é desenvolvido no contexto que será utilizado, desta

forma, como resultado, os alunos obtêm uma compreensão de conceitos abstratos, algoritmos e procedimentos, mas estes permanecem inertes pois os alunos não conseguem utilizá-los;

- o principal problema no ensino de engenharia é a lacuna entre o campo ativo e a experiência passiva em sala de aula.

É indicado em Mason et al. (2013) que o desenvolvimento de habilidades que conduzam ao sucesso profissional é um fator chave por trás da mudança emergente de um formato tradicional de aula expositiva para uma sala de aula mais aplicada e centrada no aluno. Mas existem desafios na aplicação de pedagogias centradas no aluno, segundo Hung (2019), existem três principais desafios na aplicação da PBL, são eles:

- (1) a cobertura insuficiente de conteúdo, sendo esta talvez a principal questão que torna a PBL ineficaz;
- (2) a definição de problemas autênticos da vida real que contextualizam o conhecimento abstrato do conteúdo às situações nas quais eles podem ser aplicados;
- (3) motivar os alunos a aprender.

Hung (2019) afirma que projetar problemas eficazes que proporcionem conhecimento de conteúdo suficiente, apoiem níveis apropriados de desenvolvimento de habilidades, de resolução de problemas e mantenham um nível desejado de motivação dos alunos para aprender pode não ser tão simples quanto parece. Continua o autor, a definição do problema é uma etapa crítica na implementação da PBL, pois a qualidade e a acessibilidade do problema pode afetar a aprendizagem dos alunos de várias maneiras, como a capacidade de identificar objetivos de aprendizagem ou motivação.

3. APLICANDO A PBL NO ENSINO DE ELETRÔNICA DIGITAL

Antes de iniciar a descrição da metodologia proposta, faz-se necessário compreender qual é a visão dos autores sobre o conteúdo da eletrônica digital. Buscando utilizar um recurso visual para auxiliar na discussão, imagine todo o conhecimento relacionado com a área de eletrônica digital como uma esfera e no centro dessa esfera um indivíduo. Agora, vamos considerar que o conhecimento deste indivíduo é resultado dos caminhos percorridos nesta esfera. No ensino formal, é comum rotular um conjunto de conhecimentos lhes atribuindo algum título, por exemplo, em circuitos digitais, álgebra booleana representa um conjunto de conhecimentos em uma certa vizinhança. Desta forma, nossa esfera passa a ser formada por esferas menores, cada uma representando um conjunto de conhecimentos específicos.

Porém, as componentes curriculares dos cursos de graduação, geralmente, abordam apenas um segmento do conteúdo total. Assim, se o objetivo é focar apenas em uma parte dos conhecimentos da eletrônica digital, para uma melhor representação visual, remove-se da esfera inicial apenas o segmento referente aos conhecimentos selecionados e ao se fazer a projeção em corte deste segmento tem-se a Figura 1(a), em que cada pequeno círculo representa um grupo de conhecimentos rotulados com um nome específico, sendo que o raio de cada círculo é proporcional

à quantidade de conteúdos agrupados, a intensidade da cor está relacionada a dificuldade do aprendizado daquele conjunto de conteúdos e a cor está relacionado ao objetivo daquele conteúdo na proposta de aplicação da PBL apresentada neste trabalho. A cor preta indica o grupo de conteúdos no qual o problema proposto se encontra e a cor azul indica os grupos de conteúdos não diretamente relacionados com o problema.

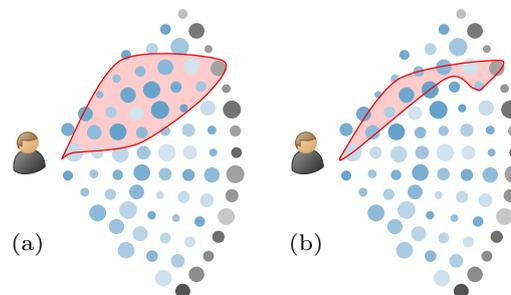


Figura 1. Representação gráfica da distribuição dos conhecimentos da eletrônica digital e os possíveis caminhos de aprendizagem para a solução de um determinado problema.

Utilizando como suporte visual a Figura 1 e assumindo que todos os círculos em torno do indivíduo são conhecimentos agrupados por títulos, fica claro que para o indivíduo atingir os conhecimentos necessários para solucionar um determinado problema na borda externa, ele necessita percorrer um caminho através de outros conhecimentos que darão suporte na solução do problema. As regiões vermelhas em 1(a) e 1(b) indicam conhecimentos adquiridos por dois indivíduos distintos em um determinado momento.

Os conhecimentos em eletrônica digital possuem algumas peculiaridades, como por exemplo, o indivíduo pode solucionar um problema de circuitos lógicos combinacionais sem aprender qualquer técnica de otimização. Um outro indivíduo pode utilizar uma técnica de otimização e chegar a solução do problema por um caminho diferente. A Figura 1 representa dois indivíduos que percorreram diferentes caminhos de aprendizado para conseguirem solucionar o mesmo problema.

Baseado nos desafios apontados na aplicação da PBL, para os conteúdos em eletrônica digital, considerou-se que a utilização apenas de problemas na borda externa poderia implicar em uma cobertura ineficiente dos conteúdos e na inacessibilidade do problema por parte dos alunos. Desta forma, buscou-se cobrir todo o conteúdo com a proposição de problemas intermediários. Estes problemas são escolhidos de tal forma que requeiram do aluno o estudo de outros conteúdos ao seu redor. Eles também possuem uma sequência adequada para serem apresentados, iniciando pelos mais próximos ao indivíduo, que inicia os estudos na área, até os mais distantes, com o objetivo de garantir a acessibilidade do problema. Na figura 2(a) há um exemplo da distribuição dos problemas e na Figura 2(b), tem-se o objetivo do percurso de aprendizado desejado para o aluno.

A metodologia proposta neste trabalho é baseada na pedagogia PBL e destinada a cursos que possuem sessenta horas de duração, ou seja, três mil e seiscentos minutos, ao longo de dezoito semanas, sendo 200 minutos por

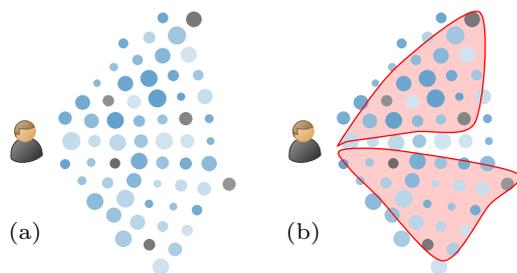


Figura 2. Representação gráfica da escolha dos problemas e os possíveis caminhos de aprendizagem desejados.

semana. As semanas do curso serão divididas em **seis problemas**, sendo que cada problema possui **um ciclo de três semanas** e que cada semana tem uma finalidade própria (ver Figura 3). A **primeira semana do ciclo** (●) é a de projeto, a qual é dedicada ao estudo do problema e investigação da solução. A **segunda semana** (●) é de implementação, a qual é dedicada ao desenvolvimento da solução do problema. Por fim, a **terceira semana** (●) é a de consolidação, em que se tenta garantir a homogeneização da absorção do conteúdo pelos alunos e a cobertura desejada para o problema.

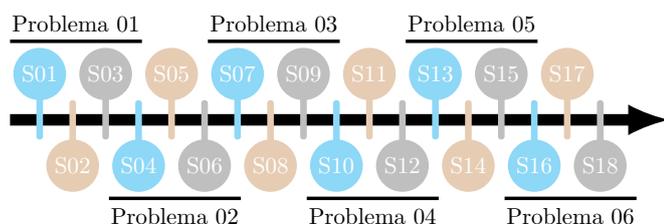


Figura 3. Representação gráfica da organização e distribuição dos problemas ao longo do curso.

Cada semana do curso utilizará a abordagem dos **sete passos**, adaptados da literatura e definidos da seguinte forma: 1) **Esclarecimento**: leitura da etapa semanal do problema, pequenas ambiguidades ou incertezas são abordadas; 2) **Brainstorming**: apresentação de ideias; 3) **Sistematização**: as ideias são selecionadas e estruturadas; 4) **Análise do problema**: os objetivos de aprendizagem são formulados; 5) **Estudo**: individual/grupo com foco nos objetivos de aprendizagem; 6) **Relatório**: as descobertas são relatadas, descritas, compartilhadas e explicadas; 7) **Avaliação**: o trabalho individual e em grupo do aluno são avaliados.

A implementação da PBL em eletrônica digital busca, além da forte formação técnica, desenvolver as competências relativas à se comunicar eficazmente nas formas escrita, oral e gráfica, trabalhar e liderar equipes, aprender de forma autônoma, lidar com situações e contextos complexos e articular a apresentação da teoria em conjunto com a prática em um contexto realista. Desta forma, a execução dos problemas é realizada por grupos de alunos (quatro ou cinco). Os grupos são formados a partir de sorteio e a indicação do líder do grupo é atribuição do professor com o objetivo de garantir que todos os participantes tenham iguais oportunidades de liderança. A indicação dos demais membros é uma atribuição do líder do grupo. Nas duas primeiras semanas do ciclo de solução do problema, os grupos devem entregar **três atividades**, são elas (Figura 4): um

relatório técnico, um vídeo complementar ao relatório para expandir a compreensão do que foi realizado pelo grupo e participar de um debate sobre o que foi desenvolvido pelo grupo. Na terceira semana do ciclo, os alunos irão se concentrar nas avaliações.



Figura 4. Representação gráfica com a indicação das atividades realizadas em grupo.

Embora os problemas sejam solucionados em grupo, cada aluno no grupo possui função específica (ver Figura 5). Desta forma, são atribuições específicas do líder do grupo: 1) Organizar as atividades do grupo; 2) Conduzir o grupo na sequência dos **Sete Passos**; 3) Guiar o processo de confrontação de ideias; 4) Sumarizar as discussões; 5) Tentar assegurar o alcance do consenso e solucionar conflitos internos; 6) Fazer perguntas, sistematizar as conclusões e estimular a participação de todos; 7) Tomar decisões;



Figura 5. Representação gráfica da atribuição de cada membro do grupo.

Já o redator tem como atribuição específica organizar a elaboração da redação final do relatório, de forma técnica, conforme as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas); O debatedor tem como atribuição específica gerenciar a participação do grupo no debate semanal, respondendo ou indicando quem responderá ao questionamento; O videomaker tem como atribuição específica organizar a elaboração da produção do vídeo para que o mesmo funcione de forma a complementar o relatório; Por último, o auxiliar não tem atribuição específica e pode ser utilizado pelo líder de forma livre.

Além das atribuições específicas, todo aluno deve: 1) Explorar o problema, levantar hipóteses, identificar e elaborar as questões de aprendizagem; 2) Identificar o que sabem, não sabem e o que precisam saber para solucionar o problema; 3) Priorizar as questões de aprendizagem, estabelecer metas e objetivos, alocando os recursos de forma adequada; 4) Planejar e delegar responsabilidades para o estudo autônomo da equipe; 5) Compartilhar o conhecimento adquirido, de forma que todos os membros aprendam os conhecimentos pesquisados pela equipe; 6) Aplicar o conhecimento adquirido na solução do problema; 7) Avaliar a solução do problema e a eficácia do processo utilizado.

Cada grupo formado possui existência de uma única semana (ver Figura 6), para possibilitar a troca de experiência entre os alunos, e, na segunda semana do ciclo, os alunos dão continuidade a solução do problema a partir das soluções investigadas por outro grupo, o que força a melhoria na comunicação escrita e estimula o debate melhorando a comunicação oral.

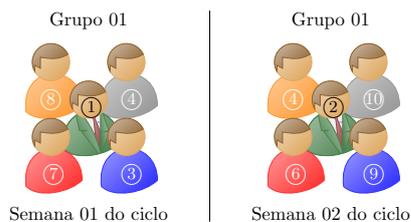


Figura 6. Representação gráfica da formação aleatória dos grupos.

O processo de avaliação ocorre, na terceira semana do ciclo, de forma individual através do preenchimento de formulários pelos alunos. O aluno deverá preencher formulários (ver Figura 7) com a avaliação de relatórios (Tabela 1), vídeos, debates e avaliação dos membros das equipes (Tabela 3) que ele fez parte, sendo o formulário do líder (Tabela 2) um específico. Os formulários são referentes às duas primeiras semanas do ciclo. Com relação ao formulário de membro, o aluno preenche um para cada membro e inclusive um para autoavaliação. Os formulários foram elaborados para serem de simples preenchimento com avaliação conceitual de acordo com o seguinte critério: insuficiente (1); fraco (2); regular (3); bom (4); muito bom (5). Além disso, sempre há um campo aberto para comentários livres e comentários sobre o comportamento ético do grupo que o aluno fez parte.

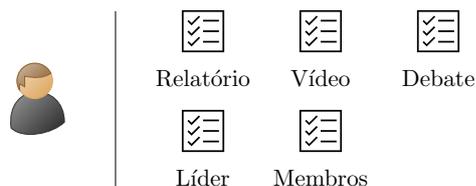


Figura 7. Representação gráfica dos formulários a serem preenchidos por todos os alunos.

A avaliação do aluno é realizada pelo professor de forma continuada e individual através do acompanhamento da evolução do aluno durante o curso inteiro. Cada aluno é avaliado por seu conhecimento técnico do assunto, por sua capacidade de liderança, sua atuação como membro da equipe, sua participação nos debates, sua capacidade de avaliação e de produção de vídeos e relatórios.

É importante notar que na implementação da PBL em eletrônica digital descrita neste trabalho, há uma mudança nos critérios de avaliação quando comparado ao formato tradicional de aulas. Antes a avaliação era realizada por provas e apenas sobre o conhecimento técnico. Agora, além do conhecimento técnico, também são consideradas as competências adquiridas pelo aluno.

3.1 Exemplo de aplicação da metodologia proposta

Como exemplo de aplicação da metodologia proposta, será descrita a aplicação na turma de circuitos digitais (CD) com quatorze alunos e transcorrida no segundo semestre do ano de dois mil e vinte, os problemas selecionados estão apresentados na Tabela 4. A componente curricular deve cobrir os assuntos de circuitos lógicos combinacionais e sequenciais, além destes, a abstração de projetos no

Tabela 1. Avaliação do relatório, vídeo, debate

Organização do texto	①	②	③	④	⑤
Gramática e ortografia	①	②	③	④	⑤
Introdução	①	②	③	④	⑤
Base teórica	①	②	③	④	⑤
Conceitos teóricos	①	②	③	④	⑤
Detalhamento da solução	①	②	③	④	⑤
Qualidade das figuras	①	②	③	④	⑤
Conclusões	①	②	③	④	⑤
Referências apropriadas	①	②	③	④	⑤
Clareza na apresentação	①	②	③	④	⑤
Aspectos técnicos	①	②	③	④	⑤
Exemplos/Simulações	①	②	③	④	⑤
Respostas às questões	①	②	③	④	⑤
Domínio do conteúdo	①	②	③	④	⑤
Tempo utilizado nas respostas	①	②	③	④	⑤

Tabela 2. Avaliação do líder do grupo

Agendamento das reuniões	①	②	③	④	⑤
Coordenação do <i>brainstorming</i>	①	②	③	④	⑤
Gerenciamento das pessoas	①	②	③	④	⑤
Gerenciamento das atividades	①	②	③	④	⑤
Gerenciamento de conflitos	①	②	③	④	⑤
Tomada de decisões	①	②	③	④	⑤
Contribuição para o grupo	①	②	③	④	⑤

Tabela 3. Avaliação de cada membro do grupo

Presença	①	②	③	④	⑤
Preparação para os encontros	①	②	③	④	⑤
Participação nas discussões	①	②	③	④	⑤
Respeito pelas opiniões	①	②	③	④	⑤
Contribuição para o grupo	①	②	③	④	⑤
Construção de consenso	①	②	③	④	⑤
Realização de tarefas	①	②	③	④	⑤

nível de transferência de registradores (RTL). Assim, os dois primeiros problemas tem o objetivo de conduzir o aprendizado dos alunos nos conhecimentos de circuitos lógicos combinacionais. Os dois problemas intermediários são focados nos circuitos lógicos sequenciais e, por fim, os dois últimos problemas são destinados aos conhecimentos em RTL. Na tabela 5 são destacados os dois principais conteúdos explorados no problema. É importante reforçar que a escolha dos problemas se dá para tentar cobrir de forma suficiente o conteúdo da componente curricular, através da definição de problemas da vida real para manter os alunos motivados.

Grupos: foram três, sendo dois com cinco alunos e um com quatro. Todos criados a partir de sorteio com a indicação do líder do grupo pelo professor.

Atividades: nas duas primeiras semanas os membros dos grupos produzem relatórios e vídeos, os quais são

Tabela 4. Lista de problemas para a componente de circuitos digitais

Problema	Descrição
01	Driver para painel de led baseado em POV
02	Unidade lógica aritmética
03	Contador inteligente
04	Cofre digital
05	Máquina de troco
06	Memória FIFO

Tabela 5. Lista de conteúdos separados por problemas

Prob.	Principais conteúdos abordados
01	Álgebra Booleana e otimização combinacional
02	Circuitos aritméticos e componentes combinacionais
03	Flip-Flops e circuitos contadores
04	Máquina de estados finitos e otimização sequencial
05	Projeto de registradores e projeto RTL
06	Componentes de memória e banco de registradores

compartilhados com todos os alunos do curso para servir como referência para os debates semanais. A solução do problema está atrelada a cada um dos grupos e, desta forma, quando os alunos mudam de grupos, eles devem dar continuidade ao desenvolvimento da solução a partir da documentação produzida e disponibilizada pelos membros anteriores do grupo para o qual ele foi sorteado.

Debates: são realizados duzentos minutos de debates semanais supervisionados pelo professor e com a participação de todos os alunos. Na primeira semana, o objetivo dos debates é auxiliar no planejamento do estudo e proposta inicial de solução para o problema. Na segunda semana, o objetivo dos debates é a revisão das soluções propostas e a implementação das mesmas. Por fim, na terceira semana o objetivo é a consolidação e a homogeneização dos conteúdos aprendidos.

Prática: todos os problemas requerem soluções que necessitam de implementação prática, a qual é desenvolvida na segunda semana do ciclo com o objetivo de contextualizar a aplicação da teoria.

Avaliação: por pares através do preenchimento de formulários eletrônicos e pelo professor através do acompanhamento individualizado ao longo do curso.

4. RESULTADOS

A metodologia proposta foi aplicada a duas turmas dos componentes curriculares Sistemas Digitais (SD) e Circuitos Digitais (CD), às quais juntas contabilizava um total de cinquenta e seis alunos. Cada turma representou um curso de sessenta horas. Como forma de avaliar a metodologia proposta, ao final de cada curso, era requisitada a cada um dos alunos participantes do curso o preenchimento de um formulário de avaliação do curso com nove questionamentos com avaliação¹ variando entre 1 e 5. A média obtida por componente e a descrição da questão se encontram na Tabela 6. Já na Figura 8 é apresentado um gráfico com a distribuição das respostas de todos os alunos, separando a resposta de cada item por sua classificação.

¹ A avaliação da cada uma das questões segue: insuficiente (1); fraco (2); regular (3); bom (4); muito bom (5)

Tabela 6. Avaliação média, por questão, das componentes curriculares do projeto piloto

Questão ¹	Média	SD	CD
Q1	Conhecimento adquirido	4,50	4,17
Q2	Capacidade para resolução de problemas	4,25	4,25
Q3	Capacidade de argumentação	4,00	4,08
Q4	Capacidade avaliativa	3,90	3,83
Q5	Participação	4,10	4,08
Q6	Produção de relatório	3,85	3,92
Q7	Amadurecimento profissional	4,45	4,58
Q8	Desenvolvimento de novas habilidades	4,35	4,58
Q9	Multidisciplinaridade	4,15	4,00

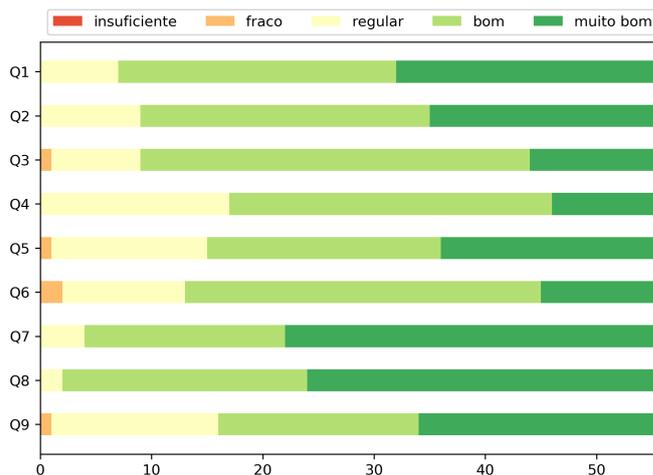


Figura 8. Distribuição das respostas ao questionário aplicado ao final dos quatro componentes curriculares pelos participantes do projeto piloto.

Além dos resultados apresentados na Tabela 6 e na Figura 8, é importante destacar que 98,2% dos alunos indicaram que preferem manter a metodologia proposta nas componentes curriculares, destacando-se que uma parte dos alunos que cursaram no formato PBL já haviam cursado a componente curricular no formato tradicional. Dos cinquenta e seis alunos que cursaram as componentes curriculares com a metodologia proposta, apenas um não obteve êxito.

4.1 Discussão

Os resultados apresentados na Tabela 6 e na Figura 8 foram produzidos a partir de uma autoavaliação dos alunos ao final do curso de componentes curriculares em semestres distintos e com conteúdos distintos. A partir desta avaliação é possível inferir quais foram os pontos mais fortes e fracos da metodologia proposta. Observando a Tabela 6, é possível notar que as avaliações das duas componentes em todos os quesitos podem ser classificadas em boa ou muito boa e seguem um mesmo padrão apontando para os mesmos pontos positivos e negativos. Desta forma, pode-se concluir que todos os objetivos ao se aplicar a PBL nestes componentes foram atingidos e que a metodologia proposta pode ser considerada uma alternativa viável para os conteúdos de eletrônica digital.

Sobre as duas questões (Q4, Q6) com pior desempenho, não foi uma surpresa o resultado. Como afirmado, a me-

todologia foi aplicada em um projeto piloto em um curso com todas suas componentes curriculares em formato tradicional com um sistema de avaliação quase que totalmente realizado por provas. A questão da dificuldade de produção de relatórios já é algo conhecido no curso e que se vem buscando solução para este problema a algum tempo. Com relação a capacidade avaliativa, essa realmente inexistente no formato tradicional, o aluno geralmente é avaliado constantemente, mas nunca é estimulado a avaliar, embora muitos, ao se graduarem, vão exercer atividades que requer deles esta competência. Para melhorar neste item, será necessário expandir o número de atividades que estimulem os alunos a melhorar sua capacidade de avaliação.

O último ponto a se destacar dos resultados é o alto desempenho percebido pelos alunos sobre o conhecimento adquirido. Embora esta percepção esteja elevada, será necessário ampliar as avaliações sobre este ponto, pois o conhecimento adquirido pelo aluno é item fundamental para uma boa formação.

Por fim, é importante destacar a boa receptividade da PBL pelos alunos e a forte redução na taxa de retenção das componentes curriculares.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi proposta uma metodologia para a aplicação da PBL no ensino de eletrônica digital. Além da proposta, também se apresentou os resultados obtidos pela a aplicação da metodologia em duas turmas de dois componentes curriculares distintos (Sistemas e Circuitos digitais). Os resultados apresentados foram coletados a partir de formulários de autoavaliação preenchidos por cada um dos alunos que participaram do curso.

O que foi possível verificar é que a aplicação da metodologia proposta foi considerada um sucesso, pois obteve um conceito médio elevado nos itens avaliados pelos alunos, possui alta taxa de aprovação (98,2%) com relação a manutenção da PBL nas componente curriculares e baixíssimo percentual de retenção (1,7%). Apesar do sucesso inicial, faz-se necessário mais estudos para se ter uma garantia dos resultados utilizando outras métricas além da autoavaliação.

REFERÊNCIAS

- Barrows, H.S. e Robyn M. Tamblyn, B.S.N. (1980). *Problem-Based Learning: An Approach to Medical Education*. Springer Series on Medical Education. Springer Publishing Company.
- Brasil (2019). *RESOLUÇÃO CNE/CES 2/2019 - Instituições as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia*. MEC, Brasília, DF.
- dos Santos, S.C., Reis, P.B.S., Reis, J.F.S., e Tavares, F. (2021). Two decades of pbl in teaching computing: A systematic mapping study. *IEEE Transactions on Education*, 64(3), 233–244. doi:10.1109/TE.2020.3033416.
- Hmelo-Silver, C.E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266. doi:10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3.
- Hung, W. (2019). *Problem Design in PBL*, chapter 11, 249–272. John Wiley & Sons, Ltd. doi:10.1002/9781119173243.ch11.
- Jonassen, D.H. (2010). *Learning to Solve Problems: A Handbook for Designing Problem-Solving Learning Environments*. Taylor & Francis.
- Kolmos, A. e de Graaff, E. (2014). *Problem-Based and Project-Based Learning in Engineering Education: Merging Models*, 141–160. Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139013451.012.
- Kolmos, A., Hadgraft, R.G., e Holgaard, J.E. (2016). Response strategies for curriculum change in engineering. *International Journal of Technology and Design Education*, 26(3), 391–411. doi:10.1007/s10798-015-9319-y.
- Kolmos, A., Holgaard, J.E., e Clausen, N.R. (2018). Changed perspectives on engineering competence in the transition from engineering education to work. In W. Sunyu, A. Kolmos, e A. Guerra (eds.), *7th International Research Symposium on PBL*, International Research Symposium on PBL, 1–10. Aalborg Universitetsforlag.
- Mason, G.S., Shuman, T.R., e Cook, K.E. (2013). Comparing the effectiveness of an inverted classroom to a traditional classroom in an upper-division engineering course. *IEEE Transactions on Education*, 56(4), 430–435. doi:10.1109/TE.2013.2249066.
- Moallem, M. (2019). *Effects of PBL on Learning Outcomes, Knowledge Acquisition, and Higher-Order Thinking Skills*, chapter 5, 107–133. John Wiley & Sons, Ltd. doi:10.1002/9781119173243.ch5.
- Moallem, M., Hung, W., e Dabbagh, N. (2019). *Understanding PBL*, 1–2. John Wiley & Sons, Ltd. doi:10.1002/9781119173243.part1.
- Moust, J., Bouhuijs, P., e Schmidt, H. (2021). *Introduction to Problem-based Learning: A guide for students*. Routledge. doi:10.4324/9781003194187.
- Oliveira, W.L.A., D., A.M., Apolinario Junior, A.L., Duarte, A.A., e Oliveira, T. (2010). Aplicando pbl no ensino de arquitetura de computadores. In *PBL 2010 International Conference*, 1–15.
- Rotgans, J.I. e Schmidt, H.G. (2019). *Effects of Problem-Based Learning on Motivation, Interest, and Learning*, chapter 7, 157–179. John Wiley & Sons, Ltd. doi:10.1002/9781119173243.ch7.
- Savery, J. (2006). Overview of problem-based learning: Definitions and distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 1. doi:10.7771/1541-5015.1002.
- Savery, J.R. (2019). *Comparative Pedagogical Models of Problem-Based Learning*, chapter 4, 81–104. John Wiley & Sons, Ltd. doi:10.1002/9781119173243.ch4.
- Servant-Miklos, V.F.C., Norman, G.R., e Schmidt, H.G. (2019). *A Short Intellectual History of Problem-Based Learning*, chapter 1, 3–24. John Wiley & Sons, Ltd. doi:10.1002/9781119173243.ch1.
- Wijnia, L., Loyens, S.M.M., e Rikers, R.M.J.P. (2019). *The Problem-Based Learning Process*, chapter 12, 273–295. John Wiley & Sons, Ltd. doi:10.1002/9781119173243.ch12.
- Williams, A. e Williams, P.J. (1997). Problem-based learning: an appropriate methodology for technology education. *Research in Science & Technological Education*, 15(1), 91–103. doi:10.1080/0263514970150107.
- Yadav, A., Subedi, D., Lundeberg, M.A., e Bunting, C.F. (2011). Problem-based learning: Influence on students' learning in an electrical engineering course. *Journal of Engineering Education*, 100(2), 253–280. doi:10.1002/j.2168-9830.2011.tb00013.x.