

# Aprimorando a Aprendizagem de Arquitetura de Computadores com um Currículo em Espiral

Leonardo Bidese de Pinho

Grupo de Informática Médica e Microeletrônica (GIMM)  
Engenharia de Computação (EC) - Campus Bagé  
Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)  
Bagé, RS, Brasil  
leonardopinho@unipampa.edu.br

Julio Saraçol Domingues Júnior

Grupo de Informática Médica e Microeletrônica (GIMM)  
Engenharia de Computação (EC) - Campus Bagé  
Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)  
Bagé, RS, Brasil  
juliodomingues@unipampa.edu.br

**Resumo**—O presente trabalho apresenta experiências preliminares, sobretudo no desenvolvimento das competências na área de Arquitetura e Organização de Computadores (AOC), obtidas com a aplicação da metodologia ativa de Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) no novo currículo em espiral do curso de Engenharia de Computação (EC). Analisa-se a perspectiva dos alunos de disciplinas do terceiro semestre: Projeto Integrador II (PI-2) e a nova AOC. Destaca-se as dificuldades com os materiais didáticos e o processo de confecção de novos materiais com foco em ABP, seguido de discussão sobre os percursos formativos e o desempenho dos discentes observados nos instrumentos avaliativos e autoavaliações. As conclusões evidenciam o alinhamento com as características almejadas para os egressos, confirmando o potencial da adoção da abordagem em espiral como forma de melhorar a aprendizagem na EC em geral, sobretudo de AOC.

**Index Terms**—ensino de engenharia, metodologia ativa, aprendizagem baseada em problemas, projeto integrador

## I. INTRODUÇÃO

A Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) é uma das Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) implantadas durante o programa de expansão ocorrido a partir da metade da primeira década do século XXI no Brasil e que teve como foco a ampliação de vagas públicas no sistema federal de ensino superior, com vistas ao desenvolvimento da pesquisa e da tecnologia no país [1]. Estudos apontam para a existência de uma situação de subdesenvolvimento na região do Pampa, sobretudo na metade sul do Rio Grande do Sul (RS), diretamente correlacionada com a crise da pecuária e da orizicultura, que sofrem com políticas macroeconômicas ligadas à abertura da economia e com as pressões por ampliação da competitividade. Para conduzir a implantação inicial dos seus dez campi localizados na divisa entre o RS, o Uruguai e a Argentina (Figura 1), o Ministério da Educação (MEC) incumbiu a Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), junto com a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Neste contexto, o curso de Engenharia de Computação (EC) do Campus Bagé da UNIPAMPA nasceu em 2006, originalmente denominado Engenharia Computacional. Inicialmente, contava apenas com três professores concursados para a área de computação e outros das áreas básicas, sobretudo de Matemática e Física, com aulas realizadas em espaços provisórios espalhados em diferentes regiões da cidade localizada na

Região da Campanha do RS, na fronteira com o Uruguai. Foi implantado como um curso presencial noturno, com o objetivo de promover a computação no ensino, pesquisa e extensão na metade sul do RS viabilizando condições econômicas, sociais e intelectuais para uma mudança de realidade, visto que a realidade, conforme mensurada pelos indicadores apresentados, pode ser transformada por meio de ações de qualificação na formação de pessoas, do ensino fundamental ao superior.

O primeiro ingresso na EC ocorreu no segundo semestre de 2006, ainda sob a tutela da UFPEL, a qual deu liberdade para que os docentes da área propusessem uma matriz curricular preliminar, o que ocorreu tendo em perspectiva modelos de currículos de referência e as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) para os cursos de Engenharia, com ênfase na carga horária (CH) mínima de 3600 horas e na possibilidade de adotar até 20% de CH semipresencial, resultando em uma matriz rígida composta apenas por componentes obrigatórios cujos planos de ensino foram detalhados conforme a evolução dos semestres, sob responsabilidade dos docentes ministrantes.

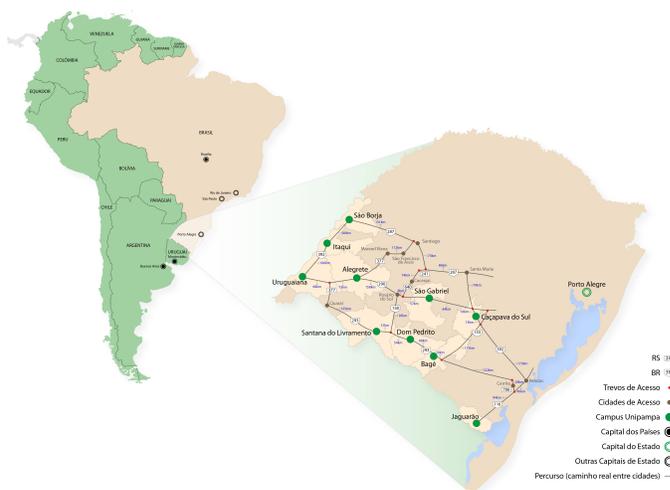


Figura 1. Localização dos dez campi da UNIPAMPA. Fonte: <https://unipampa.edu.br/portal/universidade>

Desde a conclusão da primeira versão completa do Projeto Pedagógico de Curso (PPC) da EC, em 2010, o Núcleo Docente Estruturante (NDE) do curso, formado pelos docentes concursados para a área de computação, com especialidades complementares, tem atuado periodicamente visando o seu aprimoramento, resultando em ciclos de aproximadamente seis anos entre reformulações mais amplas. Enquanto o PPC de 2010 apresentava um percurso rígido e metodologias convencionais por disciplinas não integradas, a concluída em 2016 introduziu a flexibilidade nos percursos. Contudo, foi em 2022 que concluiu-se uma reformulação ainda mais radical, com a mudança para a abordagem em espiral baseada em princípios propostos na década 60 pelo psicólogo estadunidense Jerome Bruner, incluindo os componentes integradores e mantida a flexibilização com componentes eletivos especializados.

Considerando o cenário de implantação da nova matriz curricular em 2023, efetivado com o ingresso da primeira turma neste novo percurso formativo em março deste ano, após a execução dos três primeiros semestres se mostrou relevante a realização de uma avaliação preliminar sobre os estratos de alunos (alunos seriados, ingressantes na nova matriz, e alunos não seriados, em processo de migração curricular) e suas competências até o momento, em relação ao PPC anterior, com formação mais tradicional.

Isto posto, **mostra-se relevante compartilhar os resultados preliminares, sobretudo no desenvolvimento das competências almejadas para um egresso de um curso de EC na área de Arquitetura e Organização de Computadores, das experiências obtidas com a aplicação da metodologia ativa de Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) no novo currículo em espiral.** Abordagem esta que se ampara na integração entre componentes que convencionalmente visavam o ensino-aprendizagem de conhecimentos e habilidades específicas de arquitetura, de projeto digital e de programação de forma separada. Para este fim, analisa-se a perspectiva dos alunos de duas disciplinas relacionadas, posicionadas no terceiro semestre do PPC vigente: Projeto Integrador II (PI-2), a qual se apresenta como *checkpoint* relevante para o estudo, tendo em vista a necessidade dos alunos articularem competências desenvolvidas nos três primeiros semestres; e Arquitetura e Organização de Computadores (AOC), componente no qual se concentra a maior parte do desenvolvimento de conhecimentos e habilidades avançadas de arquitetura.

O restante do trabalho está dividido como segue: a Seção 2 realiza um resgate histórico sobre as evoluções no PPC da EC, seguida pela descrição do planejamento do percurso formativo no ensino de arquitetura e, em especial, detalha a nova AOC e a disciplina integradora PI-2, a qual parte de uma relevante proposta presente na literatura adaptada à metodologia de ABP, englobando conhecimentos e habilidades de arquitetura de computadores e de estrutura de dados e suas disciplinas anteriores (Fundamentos de Hardware e Software, Projeto Digital I, Algoritmos e Técnicas de Programação e Projeto Integrador I) no percurso formativo, assim como são destacadas as dificuldades com os materiais didáticos e o processo de confecção dos materiais para esta disciplina;

a Seção 3 apresenta e discute os percursos formativos e os resultados de PI-2 e AOC (desempenho observado nos instrumentos avaliativos e autoavaliações); por fim, a Seção 4 destaca as principais conclusões e os trabalhos futuros.

## II. APRIMORANDO O DESENVOLVIMENTO DE COMPETÊNCIAS DE ENGENHEIROS DE COMPUTAÇÃO

Para aprimorar a efetividade formativa dos egressos da EC, diferentes reformulações foram propostas pelo NDE ao longo dos anos, culminando no PPC atual com foco no desenvolvimento de competências por meio de uma matriz curricular em espiral e ênfase em metodologias ativas. Em especial, no que se refere às competências associadas à Arquitetura de Computadores, planejou-se uma integração entre diferentes componentes curriculares com objetivos de aprendizagem específicos, demandando a identificação de estudos de caso relevantes, exigindo a seleção e construção de materiais didáticos complementares capazes de contribuir de forma eficaz com as metodologias propostas baseadas em ABP, cujo elemento chave “concentra-se na forma como os alunos propõem a solução para um projeto em Engenharia enunciado, por meio dos conhecimentos adquiridos e na integração destes com outros conhecimentos não relacionados” [2].

### A. Histórico evolutivo nas concepções curriculares da EC

Em 2008, ano em que foi formalmente instituída a Fundação Universidade Federal do Pampa, pela Lei 11640 de 11/01/2008, por iniciativa dos alunos e suporte dos professores da EC, nasceu o Diretório Acadêmico da Engenharia de Computação (DAECOMP), colaborando para reflexões e para a construção de uma identidade própria para o curso, com um olhar especial para o perfil dos ingressantes e para a região de inserção da UNIPAMPA. Como resultado, em 2010, o primeiro PPC foi concluído pelo NDE, na época composto pelos sete professores concursados até então para atuar, no Campus Bagé, especificamente na área de computação.

Em 2011, o curso passou a ser ofertado em infraestrutura própria da universidade (Figura 2). No mesmo ano, o curso recebeu a visita da comissão de avaliação do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), designada como parte do ato regulatório de reconhecimento do curso pelo MEC, no período entre 30/11/2011 a 03/12/2011, resultando em relatório com atribuição do conceito final 4 (máximo 5). Em 2012, ocorreu a formatura da primeira



Figura 2. Visão aérea do Campus Bagé da UNIPAMPA. Fonte: <https://sites.unipampa.edu.br/international/unipampa/campi/>

turma, concluintes de 2011/2, de modo que no ano seguinte foi formalmente considerado reconhecido pela Secretaria de Regulação e Supervisão da Educação Superior (SERES) do MEC, por meio da Portaria 618 de 21/11/2013, com a autorização para manutenção da oferta de 50 vagas anuais. Em 2014, o curso foi classificado pelo Guia do Estudante da Abril entre os melhores cursos de Engenharia de Computação do Brasil, com 4 estrelas (máximo 5), e no ano posterior passou a constar como registrado no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do RS (CREA-RS), permitindo que os egressos interessados atuem profissionalmente como Engenheiros.

Em 2016, ano em que o curso completou dez anos, foi aprovada sua primeira reformulação de PPC, a qual se concentrou na introdução da flexibilidade nos percursos formativos, oportunizando aos discentes escolher quatro Componentes Complementares de Graduação (CCG) de acordo com seus interesses. Este PPC mais flexível entrou em vigor em 2017. Dois anos após, o curso ficou entre os 10% melhores no Indicador de Diferença entre os Desempenhos Observado e Esperado (IDD) e entre os 20% melhores no Conceito Preliminar de Curso (CPC), segundo o INEP.

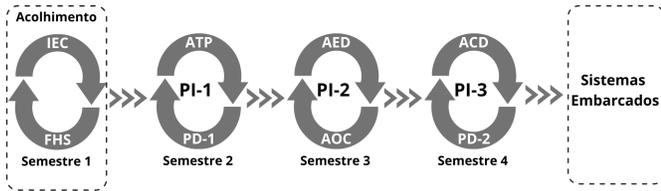
Em 2019, realizou-se uma atualização pontual no PPC, contemplando a revisão da matriz curricular (pré-requisitos e co-requisitos) e ementas. No ano posterior, ficou novamente com conceito 3 no ENADE, seguindo a média do Rio Grande do Sul e da Região Sul, mas significativamente acima da média nacional, mesmo sendo noturno. Além disso, o curso foi novamente avaliado no Guia da Faculdade (parceria entre Quero Educação e O Estado de S. Paulo), classificado entre os cursos 3 estrelas (máximo 5), estando entre os 100 melhores do país de um total de 213 cursos ofertados na área.

Em 2022, surgiu a necessidade de alinhar o PPC às novas normativas nacionais e institucionais, com destaque para os desafios e oportunidades oriundos das novas DCN das Engenharias (Resolução CNE/CES nº 2/2019), da Portaria MEC nº 2.117/2019 que ampliou para 40% o limite de CH EAD em cursos presenciais, e das Diretrizes para as Políticas de Extensão da Educação Superior Brasileira (Parecer CNE/CES Nº 608/2018 e Resolução CNE/CES Nº 7/2018), relativas à inserção da Extensão como componente obrigatório dos cursos de graduação. Neste cenário, o NDE decidiu estrategicamente por não apenas promover o alinhamento às normativas, mas também desenvolver uma reformulação curricular mais profunda, com ampla revisão dos objetivos formativos em termos de macro competências e também das competências mais específicas para os egressos. Isto gerou impacto sobre o conjunto de componentes da matriz curricular, resultando em mudanças significativas em conhecimentos, habilidades e atitudes específicas que devem ser trabalhados nestes componentes de forma integrada, inspirada por princípios de desenvolvimento cognitivo presentes na Taxonomia de Bloom [3], tendo em perspectiva o perfil de egresso desejado para todos alunos da UNIPAMPA e o particular para Engenheiros, previsto nas DCN. **Destaca-se que enquanto um perfil enaltece a capacidade dos egressos “de se inserirem nos respectivos contextos profissionais de forma autônoma, solidária,**

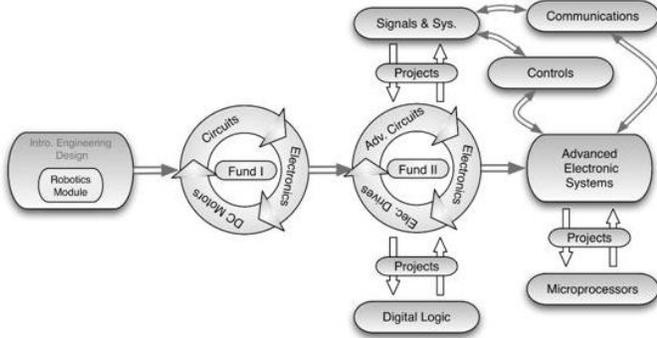
**crítica, reflexivo”, o outro complementa com a importância de ser “cooperativo e ético e com forte formação técnica; estar apto a pesquisar, desenvolver, adaptar e utilizar novas tecnologias, com atuação inovadora e empreendedora; ser capaz de reconhecer as necessidades dos usuários, formular, analisar e resolver, de forma criativa, os problemas de Engenharia; adotar perspectivas multidisciplinares e transdisciplinares em sua prática”.**

Inicialmente foram selecionados objetivos de aprendizagem (*learning outcomes*) segmentados em unidades de conhecimento (*knowledge units*), originalmente agrupadas em doze áreas de conhecimento (*knowledge areas*) específicas sugeridas no documento *Computer Engineering Curricula 2016* (CE2016) da ACM/IEEE [4], amparadas por áreas básicas (Matemática, Física e Química) e complementadas por duas áreas avançadas (Ciência de Dados e de Educação em Engenharia). A partir de um processo coletivo de reconhecimento de mais de novecentas *learning outcomes* e da sua priorização em três categorias (necessária, desejável e prescindível), definiu-se habilidades essenciais que precisariam estar associadas aos componentes do currículo para dar conta do perfil de egresso. Concluiu-se que estes deveriam ser preferencialmente concebidos de forma interdisciplinar e estruturados em um currículo em espiral, iniciando por disciplinas que facilitassem a transição do ensino médio para o superior e que oportunizassem a aprendizagem de habilidades pertencentes a diferentes áreas de conhecimento, considerando os aspectos cognitivos relacionados à Taxonomia de Bloom Revisada (percurso formativo começando por habilidades de nível inferior, formando a base para o desenvolvimento das habilidades de nível superior). Além disso, identificou-se a necessidade de adoção crescente de metodologias que promovessem a autonomia dos alunos com uso intensivo de abordagens contemporâneas viabilizadas pelo ensino híbrido, alinhadas com os objetivos instrucionais dos componentes e do Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI) da instituição, tendo em perspectiva a meta de formar Engenheiros de Computação, com competências especializadas, capazes de atuar em todo o ciclo de vida e contexto do projeto de produtos (bens e serviços) e de seus componentes, sistemas e processos produtivos, inclusive inovando-os.

Como resultado deste processo, o novo percurso formativo, parcialmente ilustrado na Figura 3(a), com ênfase nas disciplinas específicas de computação presentes nos semestres iniciais, além de incluir uma etapa de acolhimento aos ingressantes, conforme orientações das DCN, passou a enfatizar o desenvolvimento de competências de forma interdisciplinar. Principalmente utilizando métodos baseados em princípios de Aprendizagem Experiencial da teoria de Kolb [5], enriquecidos por projetos complementares com viés de Ensino, de Pesquisa e de Extensão. Essa formação contemporânea é mais fortemente identificada a partir do segundo semestre, por meio de uma série de disciplinas denominadas Projeto Integrador (PI). Nessas disciplinas, em específico, são adotadas metodologias de ABP, também chamadas de *Project-Based Learning* (PBL) [6], as quais criam espaços formativos que permitem



(a) Modelo da Engenharia de Computação da UNIPAMPA.



(b) Modelo da Engenharia Elétrica e Computação da UDMERCY. Fonte: <https://eng-sci.udmercy.edu/academics/engineering/electrical-computer/spiral-curriculum.php>

Figura 3. Contraste entre estruturas de currículos em espiral

o desenvolvimento de competências a partir de projetos reais, com diferentes níveis de complexidade, melhorando a relação entre teoria e prática e tornando os estudantes protagonistas no processo de aprendizagem. De forma geral, o percurso formativo do aluno é realizado em espiral, onde conceitos e conteúdos são revisados em diferentes momentos mas com enfoques e problemáticas diferentes. Conforme [7], em modelos de currículo em espiral os alunos resolvem problemas reais com aumento na complexidade em cada nível superior, contudo sempre focados no mesmo tema ou questão central, sendo que os problemas devem atender múltiplos critérios: serem “factíveis” para o nível do aluno e, ao mesmo tempo, passíveis de ampliação de escopo, situados em um contexto social, assemelhando-se à prática da vida real e envolverem a participação ativa dos alunos formando comunidades nas quais cada aluno passa por funções diferentes. Registra-se que o modelo de currículo em espiral de Engenharia Elétrica e Computação da Universidade Detroit Mercy (UDMERCY), no qual tópicos tradicionalmente abordados de forma separada são tratados de maneira integrada por meio de componentes integradores (Figura 3(b)), inspirou a abordagem da EC.

### B. Ensino-Aprendizagem de arquitetura em espiral

A concepção do novo PPC, no que se refere ao processo de ensino-aprendizagem de Arquitetura de Computadores, partiu das 89 *learning outcomes*, distribuídas nas onze *knowledge units* presentes no documento da ACM/IEEE, na *knowledge area* denominada “03 - CE-CAO Computer Architecture and Organization”, a qual se destaca entre as doze como sendo a que deveria concentrar a maior CH (60 de 420 *core hours*), representando 14% do total. Destas, 41 foram classificadas

como necessárias (43 por unanimidade, 17 de forma divergente e 29 com decisão por maioria), a partir da inclusão de todos os onze professores de Computação na tomada de decisão necessária para priorizar competências essenciais passíveis de serem desenvolvidas em 3600 horas.

O percurso formativo dos alunos da EC, para o desenvolvimento das 41 microcompetências (*learning outcomes*) de arquitetura de computadores consideradas necessárias inicia na disciplina introdutória denominada Fundamentos de Hardware e Software (FHS), no primeiro semestre. Essa disciplina, inspirada no curso da Universidade da Pensilvânia<sup>1</sup> denominado “Pensamento computacional para a solução de problemas”, trabalha diferentes aspectos de pensamento computacional, apresentando os principais elementos de software e hardware, com ênfase na integração entre estes dois níveis. No escopo de arquitetura, os alunos são introduzidos ao *Instruction Set Architecture* (ISA) MIPS [8], com apoio do simulador MARS [9] e aspectos de organização com seu *datapath* monociclo (o que no PPC antigo ocorria parcialmente nas disciplinas de Introdução à Arquitetura de Computadores (IAC) e Arquitetura e Organização de Computadores I (AOC-I)).

Dando sequência ao percurso formativo, no segundo semestre, na disciplina de Projeto Digital I (PD-1), os alunos são apresentados a conhecimentos de álgebra booleana, circuitos digitais combinacionais e sequenciais. Por fim, nesta disciplina os alunos são iniciados no simulador Logisim [10], por meio de um projeto final utilizando os conceitos aprendidos na disciplina, incluindo a construção de uma versão monociclo de uma arquitetura real, a qual apresenta similaridade com as características já trabalhadas em FHS, mas de simples compreensão e implementação. Em paralelo, os alunos são expostos as disciplinas de Algoritmos e Técnicas de Programação e, em especial, ao primeiro componente integrador, denominado Projeto Integrador I (PI-1). PI-1 expõe os alunos a pequenos projetos iniciais consolidando a ideia de trabalho em equipe, gerência de projetos e métodos ágeis, com a utilização da metodologia Scrum [11]. Neste semestre os projetos são de baixa complexidade com o objetivo de envolver a inicialização ao ambiente Linux e realizar um reforço sobre os conhecimentos de programação e nas linguagem de programação C e Python, e de arquitetura com o uso do simulador MARS, além de desenvolver *soft skills*, tais como capacidade de liderança, comunicação, responsabilidade, proatividade e trabalho em equipe durante os diferentes projetos.

No terceiro semestre os alunos são expostos a conhecimentos avançados de arquitetura pela nova disciplina de Arquitetura e Organização de Computadores (AOC), com ênfase em desempenho dos sistemas computacionais e em diferentes técnicas de organização de processadores, do sistema de memória e na exploração de paralelismo (o que, no PPC anterior, era trabalhado em dois componentes de 90 horas, AOC-I e AOC-II, excetuando-se uma parte introdutória que migrou para FHS), e aos conhecimentos de desenvolvimento de software pela disciplina de Algoritmos e Estrutura de Dados

<sup>1</sup><https://www.coursera.org/learn/computational-thinking-problem-solving>

(AED). Concomitantemente, a disciplina de Projeto Integrador II (PI-2) é executada, permeando os conhecimentos até então obtidos em disciplinas anteriores e do semestre corrente, tanto sobre desenvolvimento de software, quanto de arquitetura.

No quarto semestre, os alunos devem aplicar as competências desenvolvidas em Projeto Integrador III (PI-3), de forma integrada com Algoritmos e Classificação de Dados (ACD) e Projeto Digital II (PD-2). Complementarmente, salienta-se a presença de Sistemas Embarcados no sexto semestre, a qual depende fortemente das competências em Arquitetura desenvolvidas até o final do quarto semestre, incorporando não apenas projetos com *Field-Programmable Gate Array* (FPGA) mas também microcontroladores (associados pela ACM/IEEE à *knowledge area* de mesmo nome).

### C. Ensino de arquitetura com ISA MIPS simplificado

A partir da pesquisa bibliográfica, identificou-se, no planejamento de PD-1, a oportunidade de adotar o ISA denominado MiniMIPS 8 bits, baseada na proposta de Ortega-Sanchez [12] com adaptações. Esta se destaca como uma implementação simplificada do MIPS para fins educacionais, com *datapath* monociclo direcionado à placa de desenvolvimento BASYS Spartan 3E, cujo ISA consiste em nove instruções e três formatos de instrução. Os programas para o MiniMIPS são desenvolvidos em uma ferramenta de montagem/simulação personalizada, apresentada pelos autores junto com uma descrição de tarefas de laboratório propostas. Seus resultados demonstraram a capacidade do MiniMIPS e da ferramenta associada em melhorar a compreensão sobre a arquitetura de computadores e a execução de programas por um processador.

Objetivando ser coerente com a proposta do novo PPC, caracterizada pelo percurso formativo em espiral, onde o aluno revisita em diferentes momentos, com diferentes perspectivas, alguns conteúdos, foi planejada a disciplina de PI-2. Foi estabelecido como objetivo geral construir simuladores de uma dada arquitetura para consolidação de conceitos de arquitetura e desenvolvimento de software em linguagem de programação C. Partindo do conceito de ancoragem de conhecimento foi selecionada a proposta de Ortega-Sanchez para reprodução, isto é, o ISA MiniMIPS 8 bits [12]. A escolha desta arquitetura se deu por ser uma estrutura similar ao MIPS, porém, com um subconjunto simplificado de instruções. Além disso, é importante ressaltar que os alunos seriados já possuíam conhecimento prévio de uma organização básica para esta arquitetura a partir do trabalho final da disciplina de PD-1.

Tendo em perspectiva a experiência anterior de PI-1, a dinâmica proposta foi que a turma fosse novamente organizada preferencialmente em equipes de três alunos, onde em cada projeto um aluno assumiria o papel de líder do time. Os três projetos definidos foram em função das organizações possíveis para a arquitetura, ou seja, monociclo, multiciclo e pipeline, porém com o enfoque na estrutura da arquitetura MiniMIPS. Os times usaram a metodologia Scrum para organizar os trabalhos e cada projeto teve a duração de quatro semanas, utilizando *sprints* de sete dias. Uma vez por semana, durante as aulas presenciais da disciplina, foram realizadas atividades

mesclando características previstas nas cerimônias de *sprint review* e *sprint retrospective*. Nesses momentos todos os times socializaram suas dificuldades, avanços e dúvidas, permitindo o intercâmbio de informações, tanto sobre aspectos técnicos como de organização das equipes. Ao fim de cada projeto, realizou-se um seminário de socialização das soluções finais entregues, acompanhada de uma análise geral da execução do projeto do ponto de vista gerencial. Como parte da metodologia, todas as equipes precisaram utilizar alguma ferramenta digital para a gerência do projeto, principalmente por sua funcionalidade de quadros Kanban, permitindo um ambiente único para a concentração do projeto e o intercâmbio de informações entre membros da equipe e docentes.

### D. Materiais didáticos de arquitetura com foco em ABP

Uma das dificuldades encontradas na concepção de PI-2 foi selecionar um ISA passível de reprodução por meio de um simulador, que não necessitasse de alta complexidade, para que alunos do terceiro semestre fossem capazes de reproduzir sem maiores problemas. O ISA MIPS 32 bits [8] seria a escolha mais tradicional, mas pensando no tempo hábil do projeto, levando em consideração a busca por uma baixa complexidade, e por já conhecerem minimamente o funcionamento da solução monociclo, o MiniMIPS 8 bits se tornou a melhor alternativa. Contudo, a versão proposta por Ortega-Sanchez [12] apresenta apenas uma implementação didática monociclo focada em FPGA. Dessa forma, uma dificuldade encontrada foi a quantidade limitada de material didático para o MiniMIPS, tanto materiais complementares para a solução monociclo, quanto qualquer material visando projetos multiciclo e pipeline.

Considerando este cenário, criou-se o material didático de suporte aos alunos sobre o funcionamento da solução monociclo com base no MIPS 32 bits [8], porém adaptado ao MiniMIPS 8 bits [12]. Além disso, como principal ferramenta para emulação do funcionamento da arquitetura, foi desenvolvida e disponibilizada aos alunos uma versão funcional monociclo (Figura 4(a)) no ambiente do simulador Logisim [10]. A construção inicial de cada elemento e o controle monociclo já era de conhecimento prévio dos alunos seriados, o que facilitou o entendimento da solução auxiliar no Logisim, e o ponto de partida do projeto. Destaca-se que a primeira e segunda *sprints* do projeto tiveram um suporte maior dos docentes, auxiliando na modelagem das estruturas de dados a serem utilizadas e a modelagem geral da solução monociclo. Posteriormente, também foi necessário desenvolver as soluções multiciclo (Figura 4(b)) e pipeline (Figura 4(c)) para o ambiente Logisim, as quais podem ser obtidas em [13].

É importante destacar que, nesses casos, não foi possível encontrar na literatura material didático específico para a organização 8 bits do MiniMIPS. Dessa forma, todo o material didático desenvolvido referente às organizações e os exemplos do simulador Logisim são contribuições deste trabalho e serão disponibilizados em um repositório Git público da disciplina. De forma geral, a disciplina promoveu uma integração e retroalimentação importante para com as disciplinas de AOC e AED, ou seja, conforme os conhecimentos de arquitetura

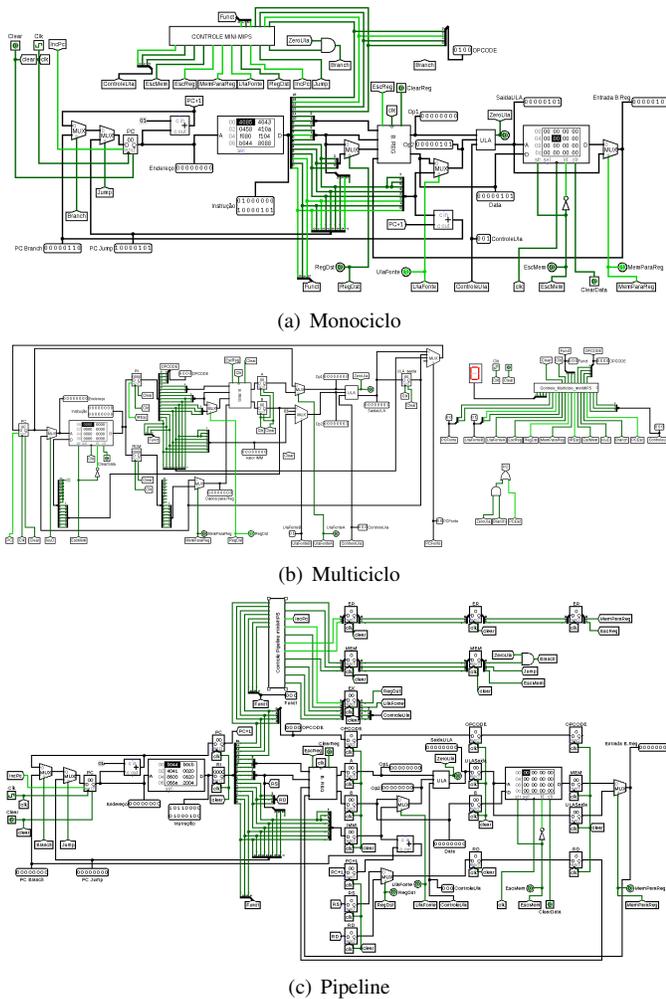


Figura 4. Materiais didáticos do MiniMIPS criados para o Logisim

e estrutura de dados foram sendo desenvolvidos, passaram a ser gradualmente exigidos nas soluções desenvolvidas, com menor intensidade no projeto inicial da solução monociclo, e maior nos projetos seguintes. Por fim, cada time apresentou suas soluções nos três seminários finais dos projetos. Ao fim da disciplina, uma prova individual foi aplicada para verificação das competências dos alunos sobre os conhecimentos e habilidades que permearam a disciplina. Além disso, também foi aplicada uma autoavaliação de desempenho sobre a disciplina e sobre sua percepção da proposta da mesma.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este estudo permite uma comparação quantitativa e qualitativa entre os percursos formativos de arquitetura previstos no PPC atual e no anterior, tendo em perspectiva o referencial da ACM/IEEE. Também possibilita a análise das primeiras ofertas de PI-2 e de AOC, ocorridas no primeiro semestre de 2024: PI-2, com dezenove alunos divididos em seis times (cinco trios e um quarteto), resultando em dezessete aprovações por nota e apenas duas reprovações por frequência; e AOC, com 38 alunos e quinze aprovações. A partir da compilação dos resultados

e coleta das percepções dos alunos, algumas considerações e reflexões foram obtidas, discutidas na sequência.

#### A. Comparação entre os percursos formativos de arquitetura

Do ponto de vista de CH, somando-se as cargas dos componentes associados às *learning outcomes* de Arquitetura (FHS no primeiro semestre, PD-1 e PI-1 no segundo, AOC e PI-2 no terceiro e PD-2 e PI-3 no quarto), tem-se 510 horas, o que corresponde a 14% das 3600 horas do currículo, proporção sugerida pela ACM/IEEE (60 / 420). Comparativamente, no PPC anterior eram dedicadas 450 horas aos componentes associados à Arquitetura: IAC e Técnicas Digitais (TD) no primeiro semestre, AOC-I no segundo, AOC-II no terceiro e Sistemas Digitais (SD) no sexto. Ou seja, no PPC atual há maior CH dedicada à área de Arquitetura, com uma formação mais coesa, concluída em quatro semestres, ao invés do modelo mais disperso, alongado até o sexto semestre. Além disso, tornou mais coerente o percurso de desenvolvimento cognitivo visando aprimorar o processo de ensino-aprendizagem relativo à nova abordagem para Sistemas Embarcados, incluindo microcontroladores, como proposto pela ACM/IEEE.

#### B. Desempenho dos alunos em PI-2

Inicialmente, analisou-se o aproveitamento geral dos discentes por atividade. A Figura 5(a) apresenta a variação na média em cada projeto (P1, P2 e P3) e na avaliação final individual (AI). Como esperado, os alunos atingiram melhor aproveitamento no monociclo do que no pipeline. Isso pode ser explicado por diferentes fatores, como a simplicidade da solução, o maior domínio sobre essa organização e o maior tempo de conclusão do projeto devido ao desastre climático que afetou o calendário acadêmico.

Posteriormente, realizou-se a análise sob a perspectiva de cada time, tal que a variação nas médias das avaliações dos projetos de cada time pode ser observada na Figura 5(b). Nota-se que, embora as médias estejam próximas, os times 3 e 5 obtiveram o menor aproveitamento nos projetos de forma geral, além de significativa dispersão. Isso pode se justificar principalmente em função dos componentes dos times não estarem seriados, ou em outras palavras, são alunos que realizaram a migração de currículo e, por isso, não seguiram o percurso formativo do novo PPC por completo. Essa informação é importante, pois corrobora com a expectativa de que o novo PPC permite um processo de ensino e aprendizagem mais dinâmico e efetivo.

A partir das notas dos alunos na antiga disciplina de Arquitetura e Organização de Computadores I (AOC-I), de 2016 a 2022, e da primeira ocorrência da nova AOC, todas sob a responsabilidade do mesmo docente, resultantes de processos avaliativos compostos por instrumentos diagnósticos, formativos e somativos, é possível realizar uma comparação preliminar entre o desempenho na área de arquitetura observado entre os alunos seriados e não seriados no PPC antigo em contraste com o novo percurso formativo. A Tabela I sumariza os dados de alunos matriculados e os percentuais de aprovação entre alunos seriados e não seriados em AOC-I e na nova AOC.

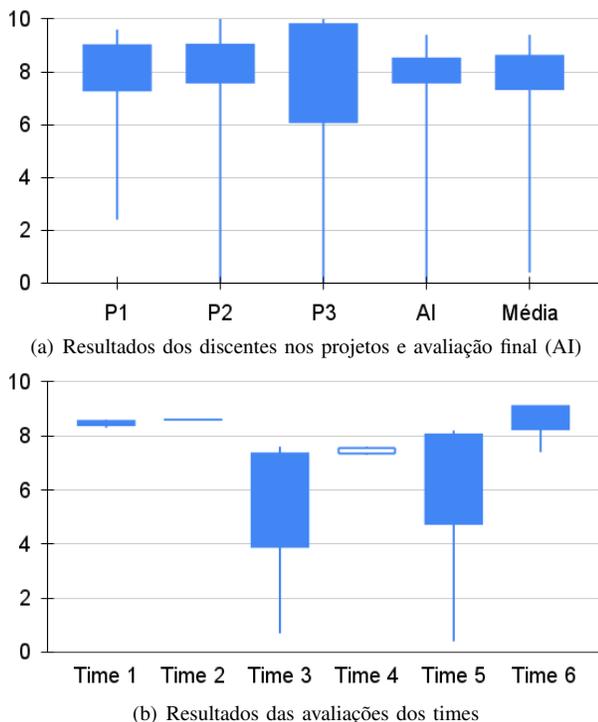


Figura 5. Desempenho em Projeto Integrador II (PI-2)

Para a análise, em função da pandemia, fez-se necessário separar a avaliação em três períodos: pré-pandemia, pandemia e pós-pandemia. No período pré-pandemia, de 2016 à 2019, nota-se uma redução gradual de alunos, tanto seriados (17, 16, 15 e 9) como não seriados (16, 12, 13 e 8), com aprovação média de 51% entre os seriados e 22% entre os não seriados. No primeiro ano da pandemia, adotou-se uma metodologia diferente, com maior ênfase em conteúdos do que em habilidades, o que impactou negativamente o processo de aprendizagem dos seriados (nove alunos, todos reprovados), com menor maturidade acadêmica, e positivamente os não seriados (23 alunos, com 87% de aprovação). Já no segundo ano

Tabela I  
DESEMPENHO EM ARQUITETURA NOS DIFERENTES PPC

| Ano   | S     | NS    | Total | SA   | NSA  | PSA | PNSA |
|-------|-------|-------|-------|------|------|-----|------|
| 2016  | 17    | 16    | 33    | 7    | 4    | 41% | 25%  |
| 2017  | 16    | 12    | 28    | 10   | 5    | 63% | 42%  |
| 2018  | 15    | 13    | 28    | 5    | 1    | 33% | 8%   |
| 2019  | 9     | 8     | 17    | 7    | 1    | 78% | 13%  |
| 2020  | 9     | 23    | 32    | 0    | 20   | 0%  | 87%  |
| 2021  | 19    | 15    | 34    | 11   | 5    | 58% | 33%  |
| 2022  | 15    | 16    | 31    | 7    | 1    | 47% | 6%   |
| MPREP | 14,25 | 12,25 | 26,5  | 7,25 | 2,75 | 51% | 22%  |
| MP    | 14    | 19    | 33    | 5,5  | 12,5 | 39% | 66%  |
| MPOSP | 15    | 16    | 31    | 7    | 1    | 47% | 6%   |
| AOC   | 17    | 21    | 38    | 10   | 5    | 59% | 24%  |

S=Seriados; NS=Não-Seriados; NSA=Não-Seriados Aprovados; PSA=Porcentagem de Seriados Aprovados; PNSA=Porcentagem Não-Seriados Aprovados; MPREP=Média Pré-Pandemia; MP=Média Pandemia; MPOSP=Média Pós-Pandemia; AOC=Nova AOC

da pandemia, com uma turma praticamente de mesmo tamanho (32 alunos em 2020 e 34 em 2021) e com a metodologia refinada a partir do *feedback* da primeira execução, observou-se uma aprovação ligeiramente superior ao pré-pandemia entre os seriados (58%) e significativamente maior entre os não seriados (33%), reforçando a hipótese de que alunos com maior experiência no ensino superior tendem a se beneficiar do modelo com ênfase em conteúdos. Após a pandemia, com a retomada da metodologia que enfatizava conhecimentos e habilidades, a turma de AOC-I teve 31 alunos, com aprovação de 47% dos quinze seriados, enquanto apenas 6% dos dezesseis não seriados atingiram resultados suficientes para aprovação. Ou seja, foi possível perceber a retomada de um patamar de aprovação próximo a 50% entre os seriados, em contraposição à expressiva redução no aproveitamento dos não seriados.

Ao contrastar estes resultados (excluindo-se o período de pandemia) com os observados na nova AOC (que assumiu o desafio de desenvolver, de forma integrada, os principais conhecimentos e habilidades da antiga AOC-I com os anteriormente presentes em AOC-II, sobretudo envolvendo o sistema de memória e paralelismo), é possível identificar uma retomada da quantidade de seriados de 2016 (17 alunos), porém com um percentual de aprovação significativamente maior, próximo de 60%. E em relação aos não seriados, uma aprovação similar (24%, sendo que a média pré-pandemia foi de 22%). Portanto, mesmo sendo uma disciplina com ementa substancialmente mais complexa que a antiga, atingiu-se resultados visivelmente melhores. Algo que, especula-se, não seria possível sem o novo percurso formativo integrador e em espiral, com fundamentos trabalhados inicialmente em FHS no primeiro semestre, aprofundados e aplicados em PI-1 no segundo e em PI-2, do forma concomitante, no terceiro.

### C. Percepções dos estudantes em PI-2 e AOC

Por fim, foram analisados os resultados obtidos por meio de formulários de autoavaliação aplicados aos discentes, respondido por dez discentes em PI-2 e quatorze em AOC.

Entre as questões sobre PI-2, destaca-se as seguintes:

- P1: Como você avalia o conteúdo da disciplina em relação a importância?
- P2: Como você avalia o conteúdo da disciplina com relação à aplicabilidade?
- P3: Os professores na condução do componente curricular estabeleceram interação entre a teoria, a prática e/ou os aspectos da realidade. Como você avalia?
- P4: Os professores utilizaram linguagem clara e compreensível na condução do processo de ensino aprendizagem. Qual sua avaliação?
- P5: Os professores mostraram-se receptivos às necessidades dos alunos e cooperativo na solução de suas dificuldades com o componente curricular. Foram acessíveis / disponíveis para orientação extraclasse. Qual sua avaliação?
- P6: Como você avalia a condução da disciplina pelos professores?

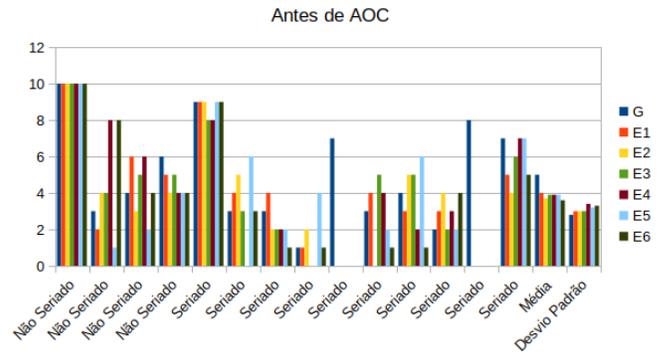


Figura 6. Respostas objetivas da autoavaliação de PI-2

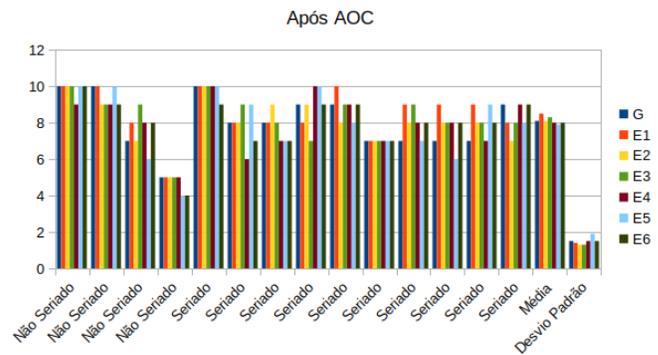
A Figura 6 mostra que as respostas se concentraram entre os conceitos Excelente ou Bom, corroborando com o sentimento de aperfeiçoamento no percurso formativo. Além disso, nas respostas dissertativas sobre PI-2, verifica-se que, de forma geral, os alunos compreenderam a integração entre os componentes, bem como destacaram pontos positivos associados à metodologia ABP, pontuando a relevância da resolução de problemas, do trabalho em equipes, do reforço no aprendizado de conceitos a partir da sua aplicação e, em especial, a contribuição para o aperfeiçoamento das habilidades de programação:

- Disciplina interessante e enriquecedora. Importante estarmos expostos ainda dentro da faculdade a resolver problemas de implementação de diversas atividades com o suporte dos professores.
- Achei uma disciplina excelente e extremamente importante para a formação na área, envolvendo trabalho em equipe, apresentação de sprints, desenvolvimento da abstração e resolução de problemas, achei importante também pois fica mais fácil de entender e visualizar a parte teórica das arquiteturas.
- Achei interessante para melhorar a programação pondo em prática o que se aprende em estrutura de dados e dar uma ajuda na parte das organizações da arquitetura do mips.
- Muito boa a disciplina, me ajudou a evoluir bastante em questão de visão de como resolver um problema grande, em um código de mais de 1200 linhas, me deu um grade domínio para a programação até o nível em que estamos também, com questões como passagem de parametros, alocação dinamica e etc.

Em AOC, responderam o formulário dez alunos seriados (todos aprovados) e quatro não seriados (três aprovados e um não aprovado), contemplando questões objetivas concentradas nos seus objetivos de aprendizagem (um geral e seis específicos) e uma questão aberta complementar sobre a metodologia utilizada. Para as questões objetivas, solicitou-se que refletissem sobre quais seriam as notas correspondentes a sua capacidade, antes (Figura 7(a)) e após (Figura 7(b)) as diferentes atividades realizadas na disciplina:



(a) Competências antes das atividades da disciplina



(b) Competências após as atividades da disciplina

Figura 7. Respostas objetivas da autoavaliação de AOC

- Geral (G): *Dominar conhecimentos e habilidades relacionadas aos princípios e tecnologias que influenciam, com diferentes níveis de abstração, o projeto de elementos de hardware e software de sistemas computacionais, permitindo a criação de soluções eficientes;*
- Específico 1 (E1): *Compreender os fatores que afetam o desempenho de sistemas computacionais;*
- Específico 2 (E2): *Entender os princípios e técnicas associadas à evolução de sistemas de processador único para multiprocessadores;*
- Específico 3 (E3): *Conhecer projetos de diferentes ISA contemporâneos;*
- Específico 4 (E4): *Analisar alternativas para organização de processadores;*
- Específico 5 (E5): *Conhecer os princípios e tecnologias relativos ao subsistema de memória; e*
- Específico 6 (E6): *Entender os principais desafios relacionados aos sistemas multiprocessados.*

Em síntese, os alunos, em média, atribuíram nota 4 para suas competências em arquitetura antes de cursarem a nova AOC, enquanto que a nota média atribuída após o componente passou para 8,1, com redução expressiva no desvio padrão de todos os itens questionados. Além disso, verificou-se uma diferença significativa entre as autoavaliações dos não seriados em comparação com os seriados, sobre suas competências antes de AOC, em média 5,8 e 3,3, respectivamente. Por

outro lado, ao analisar as notas após AOC, observa-se médias similares, sendo 7,9 para os não seriados e 8,2 para os seriados.

Na questão aberta, opcional, fez-se a seguinte orientação:

*Considerando os tópicos da ementa de AOC - Desempenho de sistemas computacionais; Arquiteturas de conjunto de instruções (ISA); Projetos de organização de computadores; Hierarquia de memória; Exploração de paralelismo em sistemas multiprocessador - faça uma reflexão sobre a metodologia utilizada nesta disciplina que possui o desafio de colaborar com o desenvolvimento de competências, sobretudo teóricas (domínio sobre conceitos), mas também práticas (habilidade de aplicar os conceitos). Inclua críticas e/ou sugestões que considere importantes para tornar a disciplina mais eficiente.*

Doze dos quatorze alunos (10 seriados aprovados e 2 não seriados aprovados) optaram por compartilhar suas observações, a partir das quais é possível concluir que a maioria avaliou positivamente a metodologia adotada na nova AOC, sendo que alguns sugeriram modificações pontuais pertinentes que serão implementadas na próxima oferta seriada do componente, prevista para o primeiro semestre de 2025:

- A metodologia usada durante a disciplina foi boa, professor sempre disponível para ajudar caso necessário.
- Eu acho que a disciplina está bem estruturada, com tópicos de extrema relevância. Na minha opinião o que poderia sofrer algumas alterações é a questão dos exercícios selecionados utilizados nas Atividades EAD, o número de exercícios propostos acaba se tornando bastante denso visto que existe a demanda de outras atividades, muitas vezes o aluno não consegue dar vencimento total aos exercícios por conta da falta de tempo hábil para a entrega e a existência de demandas de outras disciplinas e estudos extra classe da disciplina.
- Achei ótima a metodologia, utilizando de slides, livro e exercícios simultaneamente, os slides colaboraram positivamente para o aprendizado além dos exercícios que ajudam muito para o treinamento e estudo dos conteúdos.
- Acredito a disciplina foi muito bem conduzida, cumprindo integralmente o conteúdo programado no plano de ensino, apesar dos contratemplos causados pelos eventos climáticos em nosso estado. A leitura do livro foi fundamental para a construção do nosso conhecimento. Sugiro considerar a seleção de um número menor de exercícios para as atividades de EAD relacionadas ao livro.
- Acredito que tornar a aula mais interativa com o uso de exemplos e exercícios em tempo de aula pode vir a tornar o aprendizado mais interessante e facilitar a absorção dos conteúdos por parte dos alunos, além de disponibilizar tempo hábil para perceber dúvidas e buscar resolvê-las.
- Achei bastante interessante entender como funciona o computador nesse nível, eu tinha uma noção bem simplificada, apenas o que é mostrado em fundamentos de hw e sw, e então só entendia aquela abstração que há

no livro, dos 4 componentes básicos de um sistema computacional, e agora, após o fim da disciplina, eu tenho um entendimento muito maior do que há dentro de um computador, mais do que só no processador como também no sistema de memória, além de também entender claramente a diferença entre as organizações de uma mesma arquitetura, entender paralelismo e como funcionam as execuções das instruções, dentre outras coisas.

- Acredito que a metodologia de nos fazer estudar por conta, realizando leituras e indo em busca de materiais, seja boa e interessante, nos fazendo evoluir muito nesse ponto. Acredito que a dinâmica dentro da sala poderia ser menos massante, talvez com uma alternativa de adicionar mais slides para melhor entendimento (com exemplos que pudessem explicitar uma visualização de toda abstração da parte teórica, acredito que boa parte da dificuldade, tanto minha quanto de alguns colegas, era essa); ou uma breve explicação no quadro. Tirando esse ponto, foi uma disciplina com assuntos muito interessantes e importantes que, embora difícil, gostei muito de completar. Acredito que as avaliações foram de acordo com o que era pedido. A respeito da forma "punitiva" das mesmas, acredito que é algo que nos faz melhorar muito, cada vez mais, sendo no quesito de prestar mais atenção ou mesmo estudar mais em alguma parte da matéria que ainda não está dominada.
- A metodologia foi interessante tendo em vista a complexidade e a extensão do conteúdo a ser abordado. Contudo, talvez devido ao período sem aulas, alguns conteúdos foram vistos muito rapidamente, acumulando assim alguns tópicos.
- Foi uma disciplina extremamente desafiadora, que me fez ter que estudar mais do que estava acostumado até o momento e mesmo assim, ir "mal" nas avaliações. Acredito que a metodologia usada foi boa, pois se trata de um conteúdo muito extenso e tinha que ter certa autonomia de estudo, porém não gostei muito da forma como eram feitas as atividades EAD, pois eram exercícios que levavam muito tempo e não sobrava tempo para estudar os conceitos da disciplina com foco nas definições e conceitos, me atrapalhando muitas das vezes a ir bem em uma prova; os resumos foram bons, deram para ver justamente esta parte do conceito e definição de forma mais eficiente, pegando justamente a minha crítica a questão das EAD's. As provas foram boas, com o conteúdo que realmente foi visto em sala de aula, nada além do que estava no livro e nos slides
- A disciplina tem uma boa metodologia. Ao sermos direcionados a fazer as leituras do livro antes das atividades em aula tal abordagem nos ajuda a ter uma melhor compreensão dos tópicos da disciplina. As atividades são um complemento para que possamos fixar conteúdos e perceber nossas maiores dificuldades, contudo em alguns momentos foi mais difícil conciliar as atividades extraclasse de AOC com as outras cadeiras do semestre em função do montante. No geral saliento que somos

cobrados no mesmo nível que o professor nos entrega, estando sempre disponível e paciente com dúvidas e qualquer tipo de auxílio no horário de aula e fora dele também.

- A disciplina desenvolve diversos conceitos relacionados à arquitetura e organização de computadores. Devido à vasta área, os tópicos podem ser considerados introdutórios, uma vez que aprofundar-se em cada um deles demanda tempo e especialização. Desse modo, a disciplina proporciona uma abstração dos principais tópicos ligados à arquitetura de computadores, mas cabe ao discente buscar outras fontes para complementar aos seus estudos.
- AOC foi uma disciplina inicialmente muito difícil para dominar por conta que eu não realizei a disciplina de FHS, então não tive o estudo prévio sobre o MIPS nem sobre os conceitos básicos abordados nas disciplinas do novo currículo. Realizei a disciplina com projeto integrador II, o que fez eu aprimorar mais os conceitos vistos na disciplina e implementar na prática. Acredito que foi uma disciplina que inicialmente tive dificuldade de aprender os conteúdos dado minha ausência de conhecimento sobre a base de arquiteturas e hardware de computadores, mas foi muito proveitosa de aprender e implementar os conteúdos em outras disciplinas e na carreira de engenheiro da computação.

Por fim, analisando-se as observações sobre o novo percurso formativo junto com os resultados avaliativos e as manifestações dos alunos, nota-se o alinhamento com as características almejadas para os egressos, confirmando o potencial da abordagem em espiral como forma de melhorar a aprendizagem na EC em geral, sobretudo de Arquitetura.

#### IV. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresentou um relato de experiências sobre a evolução no PPC da EC ao longo dos anos, culminando na recente adoção de um currículo em espiral. Mais especificamente, detalhou a forma adotada para selecionar e criar as condições para o desenvolvimento das competências associadas à área de Arquitetura e Organização de Computadores, destacando-se a aplicação da metodologia ABP em processos de ensino-aprendizagem a partir do novo percurso formativo.

Analisando os resultados das primeiras turmas de dois componentes curriculares que permitem diagnosticar pontualmente a capacidade dos alunos diante dos conhecimentos e habilidades necessários na área (Projeto Integrador II e Arquitetura e Organização de Computadores), conclui-se que o novo percurso obteve uma maior efetividade na formação em relação aos alunos do PPC antigo e que estes, de forma geral, consideraram relevantes e adequadas as metodologias adotadas, com sugestões pontuais de melhorias para AOC. No que se refere ao uso de ABP, a principal contribuição percebida foi em relação à autonomia dos estudantes e outras *soft skills* almejadas no perfil de egresso. Cabe observar que essa percepção se aplica ao contexto do estrato inicial dos dois primeiros componentes integradores de um total de cinco,

previstos do segundo ao sexto semestre, de modo que ainda não é possível generalizar para os demais.

Como próximas etapas, espera-se executar outras edições destas disciplinas e realizar um estudo mais aprofundado sobre o desempenho dos discentes, assim como acompanhar o resultados da ABP nas demais disciplinas integradoras: particularmente, na primeira ocorrência de Projeto Integrador III, adotou-se o MiniMIPS como ISA de referência para a construção de um compilador, articulada com os componentes Algoritmos e Classificação de Dados e Projeto Digital II, sendo que observações preliminares sobre este último sugerem que o novo percurso permitiu que os alunos seriados chegassem com uma base mais consistente do que ocorria no PPC anterior, mesmo estando a disciplina equivalente, Sistemas Digitais, posicionada dois semestres a frente.

#### ACKNOWLEDGMENT

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, como parte das ações integradas do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PPGCAP) com Ensino, Pesquisa e Extensão de Engenharia de Computação na graduação.

#### REFERÊNCIAS

- [1] NDE, “Projeto Pedagógico de Curso (PPC) da Engenharia de Computação (EC) - Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA).” <http://dspace.unipampa.edu.br/jspui/handle/rii/96>, 2022.
- [2] R. O. Duarte and P. F. Donoso-Garcia, “Ensino prático de projeto de processadores segundo uma metodologia de ensino-aprendizagem baseada em projetos na escola de engenharia da ufmg,” *International Journal of Computer Architecture Education*, vol. 1, p. 11–20, dec 2012.
- [3] P. Armstrong, “Bloom’s taxonomy,” <https://cft.vanderbilt.edu/guides-sub-pages/blooms-taxonomy/>, Junho 2010.
- [4] V. Nelson, E. Durant, J. Impagliazzo, and J. L. A. Hughes, “CE2016: Updated curricular guidelines for computer engineering,” in *2017 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, pp. 1–6, 2017.
- [5] D. A. Kolb, *Experiential learning: experience as the source of learning and development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1984.
- [6] W. Bender, *Aprendizagem baseada em projetos: Educação diferenciada para o século XXI*. Penso Editora, 2015.
- [7] D. Basu, H. K. Kumar, V. K. Lohani, N. D. Barnette, G. Back, D. McPherson, C. J. Ribbens, and P. E. Plassmann, “Integration and evaluation of spiral theory based cybersecurity modules into core computer science and engineering courses,” in *Proceedings of the 51st ACM Technical Symposium on Computer Science Education, SIGCSE ’20*, (New York, NY, USA), p. 9–15, Association for Computing Machinery, 2020.
- [8] J. Hennessy and D. Patterson, *Organização e Projeto de Computadores: A Interface Hardware/Software*. Elsevier Brasil, 3. ed., 2017.
- [9] K. Vollmar and P. Sanderson, “MARS: an education-oriented MIPS assembly language simulator,” in *Proceedings of the 37th SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education, SIGCSE ’06*, (New York, NY, USA), p. 239–243, Association for Computing Machinery, 2006.
- [10] C. Burch, “Logisim: a graphical system for logic circuit design and simulation,” *J. Educ. Resour. Comput.*, vol. 2, p. 5–16, mar 2002.
- [11] I. Sommerville, *Engenharia De Software*. PEARSON BRASIL, 2019.
- [12] C. Ortega-Sanchez, “MiniMIPS: An 8-bit MIPS in an FPGA for educational purposes,” in *Proceedings of the 2011 International Conference on Reconfigurable Computing and FPGAs, RECONFIG ’11*, (USA), p. 152–157, IEEE Computer Society, 2011.
- [13] Autores, “Imagens da Implementações MiniMIPS 8 bits para Logisim.” <https://figshare.com/s/9e6ba7882af32ec6b182>, Julho 2024.