

Materiais didáticos digitais na educação profissional: concepção e arquitetura de um simulador CNC como produto educacional

Digital learning materials in professional education: design and architecture of a CNC simulator as an educational product

Isac Barbosa de Almeida¹
Carla Katarina de Monteiro Marques²
Leonardo Alcântara Alves³
Luciana Medeiros Bertini⁴
Diogo Pereira Bezerra⁵

Resumo

Este artigo apresenta a concepção de um simulador virtual como produto educacional para o ensino de programação CNC (Comando Numérico Computadorizado) na educação profissional técnica. Fundamentado nas teorias de Bandeira (2023) sobre adequação de materiais didáticos, o estudo propõe uma arquitetura organizada em quatro módulos: interface, simulação, pedagógico e armazenamento. A metodologia incluiu mapeamento de requisitos técnico-pedagógicos e análise comparativa entre diferentes recursos didáticos. Os resultados indicam que simuladores educativos apresentam vantagens significativas em acessibilidade, flexibilidade pedagógica e viabilidade econômica quando comparados a máquinas físicas e soluções comerciais. A análise demonstra o potencial da proposta para superar barreiras estruturais no ensino de tecnologias CNC, oferecendo uma alternativa economicamente acessível e pedagogicamente eficaz para instituições com restrições

¹ Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN/Campus Mossoró). E-mail: isacbarbosaa@gmail.com

² Pós-Doutora em Engenharia pela University Polytechnique of Montreal (UdeM/Canadá). Doutora em Engenharia de Teleinformática pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Atualmente é Professora Titular do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN/Campus Mossoró) e Professora Permanente do Programa de Pós-Graduação em Educação Profissional e Tecnológica (ProfEPT/IFRN). E-mail: carla.marques@ifrn.edu.br

³ Doutor em Química pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico no Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN/Campus Apodi). Também atua como docente no Programa de Pós-Graduação em Ensino (POSENSINO/UERN, UFERSA e IFRN) e da Rede Nordeste de Ensino (RENOEN/IFRN). É coordenador de Área do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência no subprojeto Química/Apodi (PIBID) e Coordenador Acadêmico do Curso de Doutorado junto à Escola de Ciências da Universidade do Minho (Braga/Portugal) em convênio com o IFRN. Líder do Núcleo de Pesquisa em Educação e Química (NUPEQ/CNPq). E-mail: leonardo.alcantara@ifrn.edu.br

⁴ Doutora em Química pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professora no Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN/Campus Apodi). Também atua como docente no Programa de Pós-Graduação em Ensino (POSENSINO/UERN, UFERSA e IFRN) e no Programa de Pós-Graduação em Ensino (RENOEN/IFRN). É líder do grupo de pesquisa Núcleo de Pesquisa em Educação e Química (NUPEQ/CNPq). Atualmente, é vice-coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ensino (RENOEN/IFRN). E-mail: luciana.bertini@ifrn.edu.br

⁵ Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Também atua como Docente Permanente do Programa de Pós-Graduação em Educação Profissional e Tecnológica (ProfEPT - Mestrado Profissional em Rede Nacional) no Campus Mossoró e Docente Permanente do Programa de Pós-Graduação em Ensino da Rede Nordeste de Ensino (RENOEN/IFRN). E-mail: diogo.bezerra@ifrn.edu.br

orçamentárias. O estudo contribui para a democratização do acesso ao conhecimento especializado, alinhando-se às transformações dos recursos educacionais proporcionadas pelas Tecnologias de Informação e Comunicação no contexto da educação profissional.

Palavras-chave: Ensino CNC; Comando Numérico Computadorizado; material didático digital; tecnologia educacional; simulação virtual.

Abstract

This paper presents the design of a virtual simulator as an educational product for teaching CNC (Computer Numerical Control) programming in technical professional education. Based on Bandeira's (2023) theories on the adequacy of didactic materials, the study proposes an architecture organized into four modules: interface, simulation, pedagogical, and storage. The methodology included mapping technical-pedagogical requirements and comparative analysis between different didactic resources. Results indicate that educational simulators present significant advantages in accessibility, pedagogical flexibility, and economic viability compared to physical machines and commercial solutions. The analysis demonstrates the proposal's potential to overcome structural barriers in teaching CNC technologies, offering an economically accessible and pedagogically effective alternative for institutions with budgetary constraints. The study contributes to the democratization of access to specialized knowledge, aligning with the transformations of educational resources provided by Information and Communication Technologies in the context of professional education.

Keywords: CNC teaching; Computer Numerical Control; digital learning material; educational technology; virtual simulation.

1. Introdução

O avanço tecnológico tem transformado significativamente os processos de fabricação mecânica, com destaque para a implementação de máquinas CNC (Comando Numérico Computadorizado) que têm se tornado cada vez mais presentes nas indústrias. Conforme aponta Neto (2022), as empresas de manufatura precisam se adequar a processos que utilizem tecnologias de ponta para se manterem competitivas no mercado atual. Essa realidade tem gerado uma demanda crescente por profissionais capacitados para operar e programar essas máquinas.

No entanto, o processo de formação desses profissionais enfrenta desafios significativos, principalmente relacionados ao alto custo dos equipamentos CNC e seus respectivos simuladores comerciais. De acordo com Rezende *et al.* (2019), a principal restrição para a utilização de sistemas CAM⁶ e máquinas CNC no ensino de engenharia é o elevado custo de aquisição de software e equipamentos com essas tecnologias, o que limita o acesso dos estudantes a essas ferramentas.

⁶ CAM: Computer-Aided Manufacturing (Manufatura Assistida por Computador)

Este cenário tem levado as instituições de ensino a buscarem alternativas pedagógicas que possibilitem o aprendizado efetivo da programação CNC sem a necessidade de grandes investimentos em infraestrutura. Santos e Azevedo (2019) destacam que a educação como área de conhecimento tem sido transformada pelas tecnologias, influenciando diretamente a forma como se trabalha com a educação atualmente, o que demanda novos produtos educacionais que auxiliem na aprendizagem das novas tecnologias.

O material didático, como aponta Bandeira (2009), pode ser definido amplamente como produtos pedagógicos utilizados na educação e, especificamente, como material instrucional elaborado com finalidade didática. A autora destaca que diferentes tipos de mídias podem ser selecionados para compor um modelo de material didático a partir das exigências do processo de comunicação educacional, observando aspectos como conteúdo, objetivos e atividades de aprendizagem. Esta perspectiva fundamenta a proposta de desenvolvimento de um simulador virtual como material didático para o ensino de CNC, que busca integrar os conceitos tradicionais com as possibilidades oferecidas pelas novas tecnologias educacionais.

Uma das soluções emergentes para essa problemática tem sido o desenvolvimento de materiais didáticos digitais, especialmente simuladores virtuais que podem ser acessados através da internet. Silva *et al.* (2019) argumentam que os produtos educacionais tecnológicos podem se manifestar de forma intangível, através de softwares e programas computacionais, oferecendo alternativas viáveis para o ensino de tecnologias complexas.

A utilização de recursos didáticos digitais no ensino de CNC alinha-se com as tendências contemporâneas da educação profissional e tecnológica. Segundo Macedo *et al.* (2019), antes mesmo de implementar uma prática educativa é necessário definir o planejamento e a avaliação, verificando ainda diversos fatores como as tarefas, utilização de espaço e recursos didáticos, especialmente quando se trata de conteúdos técnicos específicos.

Neste contexto, o presente artigo apresenta o desenvolvimento de um simulador virtual para o ensino de programação CNC, fundamentado nos princípios dos materiais didáticos digitais e nas necessidades específicas do ensino técnico. Esta proposta busca democratizar o acesso ao conhecimento em programação CNC, oferecendo uma ferramenta gratuita e acessível que pode ser utilizada tanto em

ambiente escolar quanto em estudos autônomos, contribuindo assim para a formação de profissionais qualificados para atender às demandas da indústria moderna.

2. Fundamentação teórica

O material didático, conforme define Bandeira (2023), é um conjunto de textos, imagens e recursos concebido com finalidade educativa que requer a escolha adequada do suporte em que será veiculado - seja ele impresso, audiovisual ou baseado em novas tecnologias. Esta conceituação é fundamental para compreender como os recursos educacionais evoluíram ao longo do tempo, adaptando-se às necessidades pedagógicas e às possibilidades tecnológicas de cada época, desde o uso do papiro até os atuais meios digitais que revolucionaram não apenas a escrita, mas também a produção, difusão e recepção do material didático.

No contexto específico do ensino técnico e profissionalizante, as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) apresentam um papel fundamental na democratização do acesso ao conhecimento especializado. De acordo com Bandeira (2023), o desenvolvimento de materiais didáticos baseados em novas tecnologias deve considerar não apenas os aspectos técnicos, mas principalmente sua capacidade de criar ambientes propícios à aprendizagem que sejam acessíveis e efetivos. Essa perspectiva é particularmente relevante no ensino de programação CNC, onde simuladores virtuais podem superar as limitações de acesso aos equipamentos físicos, permitindo que os estudantes desenvolvam competências práticas através de ambientes virtuais que reproduzem as condições reais de operação, além de possibilitar o aprendizado em diferentes contextos e localidades, democratizando assim o acesso à formação técnica especializada.

No contexto do ensino técnico e profissionalizante, as novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) dos cursos de Engenharia têm demandado transformações significativas nos métodos de ensino-aprendizagem. Como destacam Filho *et al.* (2019), é necessário formar egressos das escolas de Engenharia que sejam profissionais técnicos, competentes e socialmente responsáveis. No entanto, Nakazato (2019) observa que, mesmo com grandes investimentos no setor da educação, a compra de novos equipamentos, principalmente no setor público, é uma tarefa dispendiosa e burocrática, o que dificulta a formação prática dos estudantes.

A utilização de simuladores e máquinas CNC de baixo custo tem surgido como uma estratégia eficaz para superar essas limitações orçamentárias no ensino de programação CNC. Marinho *et al.* (2022) desenvolveram um módulo didático de máquina CNC de baixo custo visando auxiliar nos métodos de ensino e aprendizagem na engenharia, demonstrando que é possível criar alternativas economicamente viáveis que atendam às necessidades pedagógicas. Os autores verificaram que a construção e utilização deste tipo de equipamento possibilita um caráter multidisciplinar na formação dos estudantes, englobando conhecimentos de eletrônica, elementos de máquinas, programação e noções gerais de mecânica.

Esta abordagem alinha-se com a implementação de metodologias ativas no ensino de CNC, que tem se mostrado promissora para superar limitações educacionais. Conforme apresentado por Filho *et al.* (2019), o processo de aprendizagem ativa começa a partir de observações, passando por diferentes métodos que culminam na resolução de problemas práticos. Neste processo, o professor tem papel fundamental na condução das atividades, de forma que o estudante se sinta valorizado por suas contribuições e possa verificar as informações teóricas relacionadas à prática, produzindo significado para os conceitos em construção. Esta abordagem vai ao encontro das novas DCNs, que enfatizam a necessidade da estimulação do uso de metodologias para aprendizagem ativa como forma de promover uma educação mais centrada no aluno.

Um dos principais desafios no ensino de programação CNC está relacionado aos altos custos envolvidos na aquisição e manutenção dos equipamentos necessários. Como destacado por Polastrini (2016), as máquinas CNC, como tornos, centros de usinagem e fresadoras, representam um investimento significativo para instituições de ensino, o que frequentemente limita o acesso dos estudantes a recursos práticos adequados. Essa barreira financeira resulta em dificuldades significativas para o ensino prático de CNC, pois instituições com recursos limitados podem não ter acesso a um número suficiente de máquinas para atender todas as demandas de treinamento.

De acordo com Moura Neto e Antonino (2024), o domínio dos conhecimentos fundamentais em usinagem CNC é crucial na formação de técnicos mecânicos, tornando esses profissionais diferenciados e altamente demandados no mercado de trabalho atual. Orlando e Filho (2021) complementam que as máquinas CNC

proporcionam um nível superior de precisão e eficiência na fabricação de peças complexas, impulsionando a criatividade e inovação em diversos setores industriais. Neste cenário, o acesso a ferramentas de simulação torna-se fundamental para o processo de ensino-aprendizagem.

Como destaca Groover (2010), o ensino de CNC requer uma integração efetiva entre teoria e prática, sendo fundamental que os estudantes desenvolvam tanto a compreensão dos princípios de manufatura quanto as habilidades operacionais específicas. Os simuladores virtuais tornam-se instrumentos valiosos neste processo ao permitirem que os alunos experimentem diversos aspectos da programação e operação CNC, como configurações de ferramentas, parâmetros de corte e definição de coordenadas, em um ambiente controlado e economicamente viável. Esta abordagem metodológica atende às exigências contemporâneas da formação técnica, facilitando o acesso ao conhecimento em manufatura avançada.

Com base no artigo de Colusso e Astudillo (2023), é possível observar que a evolução das tecnologias digitais tem transformado significativamente os processos de ensino e aprendizagem. Os autores destacam que a convergência das mídias digitais, conforme definido por Jenkins (2022), representa uma transformação cultural onde os usuários são mobilizados a buscar informações e fazer novas conexões, não ocorrendo apenas nos dispositivos tecnológicos, mas principalmente nas interações sociais e cognitivas dos indivíduos.

A mediação tecnológica, fundamentada nas teorias de Vygotsky (2007) e Feuerstein, Feuerstein e Falik (2014), demonstra que o processo de ensino-aprendizagem se coloca na mediação do diálogo entre técnica e ser humano. Como evidenciado no estudo, as tecnologias digitais, quando adequadamente implementadas, não apenas facilitam a transmissão de conteúdo, mas também promovem uma transformação na forma como o conhecimento é construído e compartilhado. Isso se torna especialmente relevante no contexto das máquinas CNC, onde a interface entre o operador e a máquina requer uma compreensão profunda tanto dos aspectos técnicos quanto dos processos cognitivos envolvidos na aprendizagem.

A fundamentação teórica educacional deste trabalho baseia-se primariamente na teoria sociointeracionista de Vygotsky (2007), especificamente no conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) e mediação tecnológica. No contexto do

simulador CNC proposto, a tecnologia atua como instrumento mediador entre o conhecimento científico (programação CNC) e o estudante, permitindo a construção colaborativa do conhecimento através da interação com o ambiente virtual. Complementarmente, incorpora-se a teoria da aprendizagem mediada de Feuerstein, Feuerstein e Falik (2014), que enfatiza a importância da mediação intencional e sistemática no processo educativo, elementos centrais na arquitetura pedagógica do simulador.

3. Cenários e desafios da formação em comando numérico computadorizado

A evolução tecnológica na manufatura moderna tem transformado radicalmente os processos de produção, com as máquinas de Comando Numérico Computadorizado (CNC) ocupando papel central nessa revolução industrial. No contexto específico do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), *campus Mossoró*, o ensino técnico em mecânica enfrenta desafios significativos para formar profissionais capazes de operar essas tecnologias complexas.

Gausemeier, Gaukstern e Tschirner (2013) propõem uma metodologia sistemática para desenvolvimento de produtos mecatrônicos, que pode ser aplicada na concepção de simuladores educacionais. Neste sentido, Orlando e Filho (2021) destacam que as máquinas CNC proporcionam um nível superior de precisão e eficiência na fabricação de peças complexas, impulsionando a criatividade e inovação em diversos setores industriais.

Valentino e Goldenberg (2003) enfatizam a importância de desenvolver exercícios práticos que integrem conhecimentos teóricos com aplicações reais, princípio fundamental no *design* de produtos educacionais para CNC. Rezende *et al.* (2019) apontam que o principal obstáculo para a utilização desses sistemas no ensino está diretamente relacionado aos elevados custos de aquisição de software e equipamentos.

Moura Neto e Antonino (2024) ressaltam que o domínio dos conhecimentos fundamentais em usinagem CNC é crucial na formação de técnicos mecânicos. A proposta de desenvolvimento de um simulador exige uma interface projetada com foco na usabilidade e intuitividade, facilitando a interação dos estudantes com o sistema e minimizando a curva de aprendizagem inicial.

A literatura especializada converge para uma solução estratégica: o desenvolvimento de simuladores virtuais como alternativa pedagógica inovadora. Segundo Silva *et al.* (2019), os produtos educacionais tecnológicos podem se manifestar através de softwares que ofereçam alternativas viáveis para o ensino de tecnologias complexas.

Groover (2010) ressalta a importância da integração entre teoria e prática no ensino de CNC, argumentando que os simuladores virtuais se tornam instrumentos valiosos ao permitirem que os alunos experimentem diversos aspectos da programação CNC em ambiente controlado e economicamente acessível.

Nakazato (2019) observa que, mesmo com investimentos significativos no setor educacional, a aquisição de novos equipamentos permanece uma tarefa dispendiosa. Marinho *et al.* (2022) demonstram uma alternativa ao desenvolverem um módulo didático de máquina CNC de baixo custo, evidenciando a possibilidade de criar soluções economicamente viáveis para o ensino técnico.

A proposta de desenvolvimento de um simulador CNC, preferencialmente em linguagem de programação *web* para garantir acessibilidade multiplataforma, representa uma estratégia pedagógica de enfrentamento às limitações estruturais no ensino técnico. O objetivo central é contribuir para a formação de profissionais qualificados, preparados para os desafios da indústria moderna.

Filho *et al.* (2019) corroboram essa perspectiva, ressaltando que o processo de aprendizagem ativa começa a partir de observações, passando por métodos que culminam na resolução de problemas práticos. Neste contexto, um simulador CNC configura-se como uma ferramenta de transformação pedagógica, capaz de democratizar o acesso ao conhecimento técnico especializado.

A análise comparativa dos diferentes recursos disponíveis para o ensino de CNC revela aspectos cruciais sobre custo, manutenção, riscos e flexibilidade de cada alternativa. O Quadro 1 apresenta uma síntese desses elementos, considerando três principais abordagens: máquinas CNC físicas, simuladores comerciais e simuladores educativos. Esta comparação permite compreender as vantagens e limitações de cada recurso no contexto do ensino-aprendizagem.

Quadro 1 – Análise Comparativa de Recursos para Ensino de CNC

Recurso	Custo	Manutenção	Riscos	Flexibilidade	Principais Limitações
Máquina física (CNC)	Muito baixa: Alto custo de aquisição limita o número de equipamentos por instituição	Muito Alta: Requer manutenção especializada e periódica, além de peças de reposição específicas	Alto: Riscos de acidentes durante operação, especialmente com usuários inexperientes	Muito Baixo: Limitada às características físicas do equipamento, difícil adaptação para diferentes níveis de aprendizagem	Alto custo inicial, manutenção complexa, espaço físico dedicado
Simulador comercial	Média: Licenças comerciais têm custo significativo, mas menor que equipamentos físicos	Média: Atualizações geralmente pagas, suporte técnico limitado ao período de licenciamento	Nenhum: Elimina riscos físicos	Alta: Geralmente focada no treinamento profissional, nem sempre adaptada ao contexto educacional	Custo de licenças, atualizações pagas, requisitos de hardware
Simulador educativo	Muito alta: Solução gratuita e de código aberto permite acesso irrestrito	Muito baixa: Manutenção distribuída via comunidade de desenvolvedores, atualizações gratuitas	Nenhum: Elimina riscos físicos	Muito Alta: Desenvolvida especificamente para o contexto educacional, com progressão pedagógica estruturada	Desenvolvimento inicial, necessidade de validação pedagógica

Fonte: elaborado pelos pesquisadores (2025).

Os dados apresentados no Quadro 1 evidenciam como os simuladores educativos podem democratizar o acesso ao conhecimento em programação CNC, superando as principais barreiras encontradas nas máquinas físicas e nos simuladores comerciais. Enquanto as máquinas CNC físicas apresentam alta complexidade de manutenção e riscos operacionais, além de baixa acessibilidade devido aos custos elevados, os simuladores educativos oferecem uma alternativa mais acessível e flexível para o processo de ensino.

Esta análise comparativa reforça a importância do desenvolvimento de simuladores educativos como ferramentas complementares no ensino de CNC. Como destacam Valentino e Goldenberg (2003), a integração entre teoria e prática é fundamental para a formação efetiva, e os simuladores educativos podem proporcionar experiências práticas sem as limitações logísticas e financeiras dos equipamentos físicos. A flexibilidade e acessibilidade destes recursos permitem que instituições de ensino ofereçam uma formação mais abrangente e democrática na área de programação CNC.

4. Resultados e discussão

Esta seção apresenta os resultados obtidos através da análise teórica e documental que fundamenta a proposta do simulador CNC como produto educacional. Os resultados focam em aspectos conceituais, arquiteturais e análises comparativas, oferecendo uma base sólida para o desenvolvimento futuro do simulador proposto.

4.1 Mapeamento de requisitos técnico-pedagógicos

A partir da revisão da literatura sobre ensino de CNC e desenvolvimento de produtos educacionais digitais, foi elaborado um mapeamento dos requisitos técnico-pedagógicos essenciais para um simulador educacional efetivo. A Figura 1 apresenta estes requisitos organizados em categorias.

Figura 1 – Mapeamento de requisitos para o simulador CNC educacional



Fonte: elaborado pelos pesquisadores (2025).

O mapeamento revelou quatro categorias principais de requisitos que devem ser contemplados no desenvolvimento do simulador proposto:

1. Interface: O simulador deve apresentar uma interface intuitiva, acessível e responsiva, permitindo que estudantes com diferentes níveis de experiência possam utilizá-lo sem barreiras significativas, conforme destacado por Bandeira (2023).
2. Funcionalidades: Entre as funcionalidades essenciais, destacam-se a visualização tridimensional, o *feedback* imediato durante a programação e a disponibilidade de uma biblioteca de exercícios progressivos, aspectos fundamentais para a aplicação efetiva no contexto educacional, segundo Groover (2010).
3. Aspectos Pedagógicos: O simulador deve incorporar uma progressão didática estruturada, metodologias ativas de aprendizagem e um sistema integrado de avaliação, alinhando-se às recomendações de Filho *et al.* (2019) sobre abordagens contemporâneas no ensino técnico.

4. Aspectos Tecnológicos: Do ponto de vista tecnológico, destacam-se requisitos como compatibilidade multiplataforma, código aberto para facilitar adaptações institucionais e fidelidade da simulação em relação aos processos reais, seguindo as tendências apontadas por Santos e Azevedo (2019).

O mapeamento evidencia a interdependência entre aspectos técnicos e pedagógicos no desenvolvimento de simuladores educacionais, ressaltando a necessidade de uma abordagem integrada que considere tanto as especificidades da tecnologia CNC quanto os princípios da aprendizagem mediada por tecnologia.

4.2 Arquitetura conceitual e modelo de aplicação pedagógica

Com base nos requisitos identificados, foi desenvolvida uma arquitetura conceitual para o simulador proposto, organizando seus componentes em módulos funcionais integrados. A Figura 2 ilustra esta arquitetura, evidenciando seus componentes principais e suas inter-relações.

Figura 2 – Arquitetura conceitual do simulador CNC educacional



Fonte: elaborado pelos pesquisadores (2025).

A arquitetura proposta organiza-se em quatro módulos principais:

1. Módulo de Interface: Responsável pela interação com o usuário, incorpora o editor de código CNC e o painel de controle. Este módulo implementa os princípios de usabilidade e design instrucional identificados como essenciais no mapeamento de requisitos.

2. Módulo de Simulação: Núcleo funcional do sistema, composto pelo interpretador de G-Code e validador de operações. Este módulo traduz os comandos de programação em representações visuais do processo de usinagem, proporcionando *feedback* imediato ao estudante.

3. Módulo Pedagógico: Integra a sequência didática e o sistema de avaliação, ordenando conteúdos e exercícios em uma progressão de complexidade adequada ao processo de aprendizagem, conforme recomendado por Valentino e Goldenberg (2003).

4. Módulo de Armazenamento: Gerencia o armazenamento de programas desenvolvidos pelos estudantes e mantém o registro de seu desempenho, permitindo acompanhamento contínuo e personalização da experiência de aprendizagem.

A arquitetura proposta diferencia-se de simuladores comerciais através de sua concepção específica para o contexto educacional. Conforme destacado por Rezende *et al.* (2019), sistemas comerciais são desenvolvidos primariamente para atender demandas industriais, com foco na eficiência operacional e produtiva. Em contraste, a arquitetura modular proposta privilegia a flexibilidade pedagógica através da segregação funcional entre módulos pedagógico e de armazenamento, permitindo adaptações específicas ao processo de ensino-aprendizagem. Esta abordagem alinha-se às observações de Silva *et al.* (2019) sobre a necessidade de produtos educacionais tecnológicos serem desenvolvidos considerando as especificidades do contexto educativo, diferentemente de soluções voltadas ao mercado industrial que priorizam performance sobre adaptabilidade didática.

Esta organização modular alinha-se à metodologia de desenvolvimento de produtos mecatrônicos propostos por Gausemeier, Gaukstern e Tschirner (2013), adaptada para o contexto educacional. A arquitetura privilegia a extensibilidade e manutenibilidade, permitindo a evolução contínua do simulador e sua adaptação a diferentes contextos pedagógicos.

A partir desta arquitetura, foi desenvolvido um modelo conceitual de aplicação pedagógica que estrutura o processo de ensino-aprendizagem em cinco etapas principais. O modelo inicia com a contextualização, que introduz os conceitos fundamentais e sua relevância no contexto profissional, seguida pela exploração guiada, onde ocorre a familiarização com a interface e funcionalidades básicas do simulador. Prossegue para a experimentação estruturada, com resolução de

problemas progressivamente mais complexos, avançando para a prática autônoma, que envolve o desenvolvimento de projetos individuais ou em grupo. O processo culmina na etapa de avaliação e reflexão, dedicada à análise crítica dos resultados e consolidação da aprendizagem.

Este modelo incorpora princípios da aprendizagem ativa, conforme discutido por Filho *et al.* (2019), e da mediação tecnológica baseada nas teorias de Vygotsky (2007) e Feuerstein, Feuerstein e Falik (2014). A estruturação proposta visa maximizar a efetividade pedagógica do simulador, promovendo a construção significativa de conhecimentos e o desenvolvimento de competências técnicas específicas.

4.3 Análise comparativa e viabilidade da proposta

A análise comparativa entre a abordagem proposta e as principais soluções educacionais para ensino de CNC documentadas na literatura revelou diferenciais significativos em diversos aspectos fundamentais.

Em termos de fundamento pedagógico, enquanto a abordagem tradicional baseia-se principalmente em demonstração e repetição, e a abordagem comercial foca no treinamento operacional específico, a abordagem proposta fundamenta-se em metodologias ativas e aprendizagem significativa, alinhando-se às tendências contemporâneas do ensino técnico.

Quanto à relação teoria-prática, observa-se uma dissociação frequente entre conceitos teóricos e aplicação prática na abordagem tradicional, e uma ênfase nos aspectos operacionais com limitada fundamentação teórica nas soluções comerciais. Em contraste, a proposta apresentada busca uma integração explícita entre conceitos teóricos e aplicações práticas, conforme recomendado por Groover (2010).

No aspecto de acessibilidade, tanto a abordagem tradicional (restrita às instituições com recursos para aquisição de equipamentos) quanto a comercial (limitada pelo custo de licenças) apresentam barreiras significativas. A proposta desenvolvida visa ser amplamente acessível via plataforma *web*, sem custos de licenciamento, democratizando o acesso ao conhecimento especializado.

A progressão didática proposta diferencia-se por ser estruturada em níveis progressivos com adaptação ao desempenho do estudante, superando as limitações das abordagens tradicionais (geralmente lineares) e comerciais (frequentemente não estruturadas pedagogicamente). Esta característica alinha-se às recomendações de

Valentino e Goldenberg (2003) sobre a importância da progressão adequada na aprendizagem de tecnologias complexas.

A abordagem avaliativa integra elementos formativos e somativos, com *feedback* contínuo, contrastando com a avaliação predominantemente somativa das abordagens tradicionais e as certificações operacionais das soluções comerciais. Finalmente, em termos de integração curricular, a proposta foi concebida para integração transversal no currículo técnico, superando o isolamento típico do ensino tradicional de CNC.

A viabilidade técnica e econômica da proposta foi analisada considerando aspectos como tecnologias disponíveis, requisitos de infraestrutura, complexidade de desenvolvimento e custo comparativo. Os resultados desta análise são promissores. As tecnologias *web* contemporâneas permitem o desenvolvimento de simulações com fidelidade adequada para fins educacionais, conforme demonstrado por Colusso e Astudillo (2023). Os requisitos de infraestrutura limitam-se a hospedagem *web* padrão, compatível com orçamentos institucionais típicos, sem necessidade de *hardware* especializado. A complexidade de desenvolvimento é considerada média, utilizando *frameworks* e bibliotecas de código aberto disponíveis, como destacado na literatura sobre desenvolvimento de produtos educacionais tecnológicos (Silva et al., 2019). Adicionalmente, o investimento no desenvolvimento do simulador representa uma fração do custo de aquisição de equipamentos CNC didáticos, conforme análise baseada em dados de Marinho et al. (2022).

Quanto aos custos de implementação, a análise baseada em projetos similares de desenvolvimento de produtos educacionais tecnológicos indica que simuladores *web* educacionais demandam investimento inicial concentrado no desenvolvimento técnico, seguido de custos operacionais reduzidos. Os principais componentes de custo incluem desenvolvimento de *software* (programação, *design* de interface e testes), infraestrutura de hospedagem *web* e manutenção técnica contínua. Conforme destacado por Silva et al. (2019), produtos educacionais de código aberto apresentam vantagem econômica significativa por distribuir os custos de manutenção através da colaboração comunitária. A adoção de tecnologias *web* padrão e *frameworks* consolidados reduz a complexidade técnica e, consequentemente, os custos de desenvolvimento quando comparados a soluções proprietárias. Embora exista dependência da comunidade de desenvolvedores para evoluções contínuas, estudos

de caso de projetos educacionais *open source* demonstram sustentabilidade a longo prazo através da colaboração institucional distribuída, conforme evidenciado por Colusso e Astudillo (2023) em sua análise de ferramentas educacionais digitais.

Esta análise evidencia a viabilidade técnica e econômica da proposta, alinhando-se às observações de Nakazato (2019) sobre as restrições orçamentárias das instituições públicas de ensino. O modelo de desenvolvimento e distribuição proposto apresenta vantagens significativas em termos de custo-benefício quando comparado às alternativas tradicionais, potencializando o impacto institucional do investimento inicial.

4.4 Projeção de impacto e discussão integrada

Fundamentando-se em pesquisas sobre o impacto de tecnologias educacionais similares, projeta-se que a implementação do simulador proposto traga múltiplos benefícios ao processo educacional. Destaca-se o aumento da disponibilidade de recursos práticos, com expansão significativa do tempo disponível para prática, considerando as possibilidades de acesso remoto e assíncrono que transcendem as limitações do laboratório físico. Espera-se também uma democratização do acesso, com redução das disparidades entre instituições com diferentes perfis orçamentários. Adicionalmente, prevê-se uma otimização do tempo presencial, com reconfiguração das atividades que demandam mediação direta do docente, potencializando o aproveitamento do tempo de laboratório.

Estas projeções alinham-se às tendências contemporâneas da educação profissional e tecnológica, conforme discutido por Macedo *et al.* (2019), e às transformações proporcionadas pelas Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) destacadas por Santos e Azevedo (2019).

Os resultados apresentados convergem para a sustentação da viabilidade e relevância da proposta de desenvolvimento do simulador CNC educacional. A análise documental e teórica oferece evidências que corroboram a hipótese central do estudo: a de que simuladores educacionais representam uma alternativa viável e pedagogicamente eficaz para o ensino de programação CNC no contexto da educação profissional e tecnológica.

O mapeamento de requisitos e a arquitetura conceitual proposta demonstram a viabilidade técnica da solução, fundamentada em tecnologias contemporâneas e

princípios de *design* instrucional. Este aspecto alinha-se às observações de Bandeira (2023) sobre a importância da adequação do suporte às finalidades educativas específicas. A análise comparativa entre abordagens educacionais revela o potencial inovador da proposta no contexto do ensino técnico, particularmente em sua fundamentação pedagógica baseada em metodologias ativas. Esta constatação é congruente com as diretrizes contemporâneas para a educação em engenharia, conforme discutido por Filho et al. (2019).

O modelo conceitual de aplicação pedagógica evidencia o alinhamento da proposta com teorias contemporâneas de aprendizagem, particularmente aquelas relacionadas à mediação tecnológica. Este aspecto reforça o potencial de efetividade pedagógica do simulador, conforme destacado por Colusso e Astudillo (2023) em sua análise sobre materiais didáticos digitais.

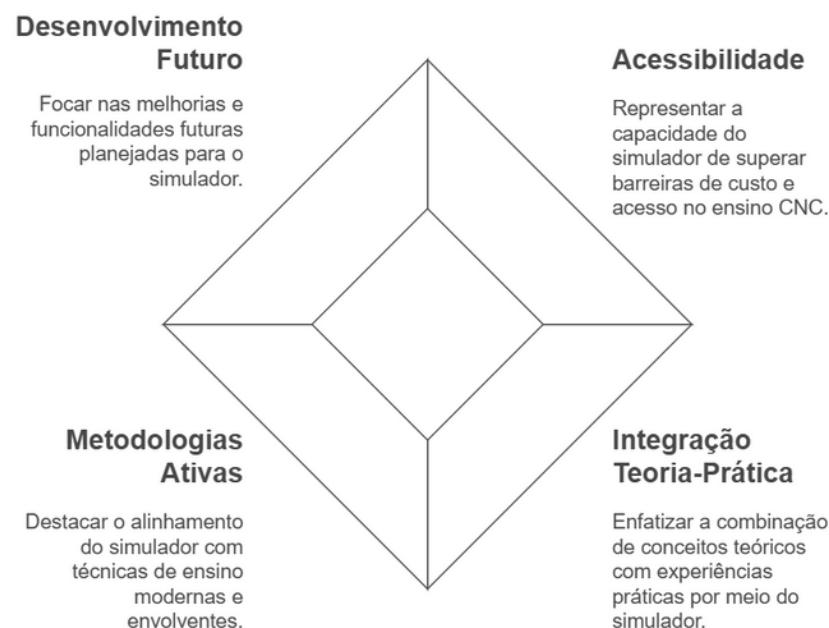
Considerados em conjunto, os resultados desta análise teórica e documental constituem uma base sólida para o desenvolvimento do simulador CNC educacional, evidenciando seu potencial para democratizar o acesso ao conhecimento em programação CNC e contribuir para a formação de profissionais qualificados para atender às demandas da indústria moderna.

4. Considerações finais

O desenvolvimento conceitual do simulador CNC como produto educacional demonstrou potencial significativo para democratizar o ensino de programação CNC, especialmente em instituições com recursos limitados. A análise da implementação evidencia que esta ferramenta possibilita superar barreiras tradicionalmente associadas ao ensino de tecnologias CNC, como custos elevados de equipamentos e restrições de acesso. Para melhor compreensão dos aspectos fundamentais que nortearam este desenvolvimento, apresenta-se uma estrutura conceitual que sintetiza os pilares do projeto na Figura 3.

Figura 3 – Desenvolvimento de um simulador CNC educacional

Desenvolvimento de um Simulador CNC Educacional



Fonte: elaborado pelos pesquisadores (2025).

A interrelação entre os quatro pilares fundamentais da Figura 3 e os módulos arquiteturais da Figura 2 evidencia a coerência sistêmica e a integração conceitual da proposta. O pilar "Acessibilidade" materializa-se primordialmente no Módulo de Interface, que incorpora princípios de usabilidade universal e *design* responsivo, garantindo que estudantes com diferentes níveis de experiência tecnológica possam utilizar o simulador efetivamente. A "Integração Teoria-Prática" concretiza-se através da sinergia funcional entre os Módulos Pedagógico e de Simulação, onde conceitos teóricos de programação CNC são imediatamente aplicados e visualizados no ambiente virtual, promovendo aprendizagem significativa. As "Metodologias Ativas" permeiam transversalmente todos os módulos do sistema: no Módulo de Interface através de elementos interativos, no Módulo de Simulação por meio de *feedback* imediato e visualização tridimensional, no Módulo Pedagógico mediante progressão adaptativa de exercícios, e no Módulo de Armazenamento através do registro e acompanhamento personalizado do progresso discente. Por fim, o pilar "Desenvolvimento Futuro" sustenta-se na arquitetura modular proposta, que facilita

expansões incrementais e adaptações institucionais específicas, assegurando a evolução contínua do simulador conforme demandas pedagógicas emergentes.

A estrutura apresentada na Figura 3 evidencia quatro pilares fundamentais que sustentam o desenvolvimento do simulador: acessibilidade, integração teoria-prática, metodologias ativas e desenvolvimento futuro. Esta abordagem sistêmica reforça as análises demonstradas no Quadro 1, onde os simuladores educativos apresentaram vantagens significativas em termos de acessibilidade e flexibilidade, mantendo níveis adequados de eficácia pedagógica.

A investigação realizada evidencia que a principal barreira para a efetiva formação técnica em programação CNC reside nas limitações de acesso aos recursos tecnológicos necessários, seja por seus elevados custos de aquisição e manutenção, seja pelas restrições logísticas associadas. O simulador proposto supera essas barreiras ao oferecer um ambiente virtual de aprendizagem acessível, flexível e pedagogicamente orientado, capaz de proporcionar experiências significativas de aprendizagem sem as limitações físicas e econômicas dos equipamentos convencionais.

O mapeamento de requisitos técnico-pedagógicos e a arquitetura conceitual desenvolvidos neste estudo estabelecem diretrizes sólidas para a implementação futura do simulador, proporcionando uma base teórico-metodológica que integra princípios contemporâneos de *design* instrucional, metodologias ativas de aprendizagem e mediação tecnológica. A análise comparativa realizada indica que a abordagem proposta representa uma inovação significativa no campo do ensino técnico, diferenciando-se tanto das abordagens tradicionais quanto das soluções comerciais disponíveis.

As evidências obtidas corroboram as observações de Silva *et al.* (2019) sobre o potencial dos produtos educacionais tecnológicos em oferecer alternativas viáveis para o ensino de tecnologias complexas. A implementação conceitual do simulador demonstrou capacidade de atender às diretrizes contemporâneas da educação profissional e tecnológica, alinhando-se com as demandas identificadas por Filho *et al.* (2019) para metodologias ativas de aprendizagem.

Entretanto, identificaram-se aspectos que demandam desenvolvimento adicional para validação empírica da proposta conceitual apresentada. A materialização da arquitetura proposta através da construção efetiva do simulador

constitui o próximo passo necessário para demonstrar sua viabilidade prática e eficácia pedagógica.

Sugere-se para trabalhos futuros

- Desenvolvimento técnico do simulador conforme arquitetura proposta;
- Implementação de testes piloto em ambiente educacional controlado;
- Avaliação da eficácia pedagógica através de métricas de aprendizagem comparativas.

As evidências coletadas indicam que o simulador CNC representa uma inovação significativa no contexto do ensino técnico, oferecendo uma solução escalável e economicamente viável para a formação profissional. A abordagem desenvolvida demonstra potencial para modernização das práticas pedagógicas no ensino profissionalizante, alinhando-se com as tendências tecnológicas e demandas do setor industrial contemporâneo.

Esta pesquisa contribui para o campo da educação profissional e tecnológica ao apresentar uma alternativa viável para o ensino de programação CNC, fundamentada em princípios pedagógicos sólidos e adaptada às limitações estruturais comumente encontradas em instituições de ensino técnico. Os quatro pilares apresentados na Figura 3 – acessibilidade, integração teoria-prática, metodologias ativas e desenvolvimento futuro – constituem não apenas a base do simulador proposto, mas também um *framework* conceitual que pode orientar o desenvolvimento de outros produtos educacionais tecnológicos.

Recomenda-se a continuidade dos estudos sobre a efetividade desta ferramenta em diferentes contextos educacionais, bem como o desenvolvimento de novas funcionalidades que ampliem seu potencial pedagógico, sempre considerando a interrelação entre os quatro pilares identificados como fundamentais para o sucesso da implementação.

Referências

- BANDEIRA, D. **Materiais didáticos**. Curitiba: IESDE, 2009.
- BANDEIRA, D. **Material didático**: criação, mediação e ação educativa. Curitiba: Intersaber, 2023.
- COLUSSO, P. R.; ASTUDILLO, M. V. A escolha e o uso de material didático digital por professores da educação superior: a evolução das TDIC no ambiente virtual de aprendizagem. **Research, Society and Development**, v.12, n.3, 2023.

FEUERSTEIN, R.; FEUERSTEIN, R. S.; FALIK, L. H. **Além da inteligência: Aprendizagem mediada e a capacidade de mudança do cérebro.** 2014.

FILHO, G. E. et al. **Uma nova sala de aula é possível:** aprendizagem ativa na educação em engenharia. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

GAUSEMEIER, J.; GAUKSTERN, T.; TSCHIRNER, C. Systems engineering management based on a discipline-spanning system model. **Procedia Computer Science**, v.16, p.303-312, 2013.

GROOVER, M. P. **Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems.** John Wiley & Sons, 2010.

JENKINS, H. **Cultura da Convergência.** Aleph, 2022.

MACEDO, M. L. R. et al. Práticas educativas na educação profissional e tecnológica à luz da neuroeducação. **Brazilian Journal of Development**, v.5, n.11, 2019.

MARINHO, A. et al. Desenvolvimento de máquina de comando numérico de baixo custo para auxílio nos métodos de ensino e aprendizagem na engenharia. In: **Congresso brasileiro de automática-cba.** 2022.

MOURA NETO, L. G.; ANTONINO, T. S. Elaboração de um guia didático para o ensino das aulas práticas em um Centro de Usinagem Educacional. **Revista Semiárido De Visu**, v.12, n.1, p.512-529, 2024.

NAKAZATO, A. Z. **Desenvolvimento de máquina universal de ensaios mecânicos portátil de baixo custo para fins didáticos utilizando o conceito open-source.** Guaratinguetá, 2019. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

NETO, G. **Desenvolvimento de um sistema de monitoramento remoto de máquinas cnc utilizando conceitos da indústria 4.0.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Aeroespacial) - Universidade Federal de Santa Catarina.

ORLANDO, A. J.; FILHO, R. R. EVOLUÇÃO DO COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO. **Revista Interface Tecnológica**, v.18, n.1, p.606-617, 2021.

POLASTRINI, F. H. **Desenvolvimento de uma máquina CNC de baixo custo com software e hardware abertos.** Formiga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Minas Gerais.

REZENDE, H. B. et al. FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA CONTROLE DE MÁQUINAS CNC. In: **Congresso Brasileiro de Automática-CBA.** 2019.

SANTOS, T. D.; AZEVEDO, M. A. UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE NO DESENVOLVIMENTO DE PESQUISAS NA PÓS-GRADUAÇÃO DA ÁREA DE EDUCAÇÃO NO BRASIL (2006-2017). **Revista Temas em Educação**, v.28, n.2, p.1-24, 2019.

SILVA, R. O. et al. ASPECTOS RELEVANTES NA CONSTRUÇÃO DE PRODUTOS EDUCACIONAIS NO CONTEXTO DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA. **REPPE-Revista de Produtos Educacionais e Pesquisas em Ensino**, v.3, n.2, p.105-119, 2019.

VALENTINO, J.; GOLDENBERG, J. **Learning Mastercam Mill Step by Step.** Industrial Press Inc., 2003.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e Linguagem.** Martins Martins Fontes, 2007.