

Realidade Aumentada Aplicada à Educação: Uma Experiência Imersiva na Formação de Acadêmicos em Sistemas de Informação

Bruno P. C. dos Santos¹, Jean P. da Costa¹, Maici D. Leite²

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação (PPGEEC) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Câmpus de Pato Branco - Paraná - Brasil

²Departamento Acadêmico de Informática - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Câmpus de Francisco Beltrão - Paraná - Brasil

{brunosantos.1998}@alunos.utfpr.edu.br

{jpcosta, maicileite}@utfpr.edu.br

Abstract. *Augmented Reality (AR) allows the enrichment of the real world with virtual objects. This article investigates the benefits of using this immersive technology in the educational field of Computing in Higher Education, in addition to evaluating the general aspects of a digital instructional resource called ARbrnx applied in the scope of Computer Architecture knowledge. Therefore, the realization of a pedagogical workshop concatenated in a methodological path presented satisfactory results in creating a holistic pedagogical construct with experimental and engaging teaching directives.*

Resumo. *A Realidade Aumentada (RA) permite o enriquecimento do mundo real com objetos virtuais. Este artigo investiga os benesses do uso desta tecnologia imersiva no campo educacional de Computação na Educação Superior, além de avaliar os aspectos gerais de um recurso instrucional digital denominado ARbrnx aplicado no escopo de conhecimento de Arquitetura de Computadores. Logo, a realização de uma oficina pedagógica concatenada em um percurso metodológico apresentou resultados satisfatórios em criar um construto pedagógico holístico com diretrizes de ensino experimentais e envolventes.*

1. Introdução

A cooperação internacional estipulada pela Agenda 2030 desenvolvida pela Organização das Nações Unidas (ONU) estabelece Objetivos de Desenvolvimento Sustentável para promover a transformação mundial em direção à igualdade social. Entre as metas propostas, a construção de uma educação inclusiva, equitativa e de qualidade demonstra o interesse internacional em promover perspectivas de aprendizagem para todas as pessoas [das Nações Unidas 2024].

Neste sentido, a legislação que regulamenta o sistema educacional brasileiro denota padrões do direito à educação e qualidade do ensino. Por conseguinte, o fomento de insumos para criação da aprendizagem deve atender às necessidades específicas de

cada estudante. Como efeito, a inserção de ferramentas e recursos digitais no espaço educacional deve apoiar mutuamente o desenvolvimento dos professores e estudantes [Brasil 2023].

Logo, a elaboração do Plano Nacional de Educação em direção ao decênio 2024-2034 constitui eixos normativos, que promovem objetivos a serem alcançados em todos os níveis educacionais do Brasil. Em consequência, o progresso da educação tenciona o manuseio reflexivo, crítico e ético das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC) no processo educativo [dos Deputados 2024].

Neste cenário, as informações apresentadas deslocam as práticas pedagógicas como elementos precursores para desenvolver as habilidades intrínsecas dos estudantes. Em particular, a estrutura dos fenômenos de aprendizagem denota a simultaneidade entre ensino teórico e prático para compor a educação moderna. Isto posto, constitui-se por uma lacuna apropriada de uso das TDIC, de forma a apoiar a experimentação do ensino pelos acadêmicos e agregar alternativas de reprodução epistemológica pelos professores.

Este contexto demonstra um panorama adequado ao emprego da tecnologia Realidade Aumentada (RA). A predita conduz à coexistência entre aspectos tangíveis e objetos virtuais, para criar uma perspectiva aprimorada da realidade [Tori and da Silva Hounsell 2020]. O referido conceito aplicado ao processo de ensino/aprendizagem instiga a conexão entre os objetos de conhecimento e sua aplicação no cotidiano dos estudantes.

Consequentemente, a literatura detém investigações que demonstram a flexibilidade de aplicação da RA em contextos educacionais. A ideação de experiências de ensino lúdicas/interativas através de um Safari Escolar em RA, com emprego na Educação Infantil (EI) [Primo et al. 2024]. A exploração do uso de RA para modernizar a mostra de conteúdos científicos na Educação Básica [Belém et al. 2024]. A alfabetização de crianças com limitações de desenvolvimento físico e cognitivo em RA [Cruz et al. 2023].

Justamente, este artigo destaca-se frente às obras apresentadas em deslocar o conhecimento teórico em direção ao plano imersivo e experimental em práticas pedagógicas no campo de ensino da Computação. Logo, a hipótese perlustrada refere-se ao uso da RA na formação de estudantes na Educação Superior (ES) para construir os saberes epistemológicos por meio de fenômenos educacionais envolventes. Esta suposição visa enriquecer o ensino a fim de estimular um aprendizado com ações personalizadas e reflexivas.

Assim, o objetivo geral deste artigo consiste em criar um constructo pedagógico caracterizado por diretrizes de ensino imersivas e interativas para gerar um aprendizado ativo no campo computacional. Logo, esta pesquisa busca avaliar o proveito da RA e de um recurso instrucional digital em apoiar a construção gnoseológica sobre componentes de computadores modernos durante a construção do conhecimento na ES.

2. Referencial Teórico

O aspecto harmônico concebido pelas tecnologias imersivas orienta o rompimento da fronteira entre o universo virtual e físico. Neste sentido, as terminologias relacionadas à Realidade Mista, Virtual, e Aumentada orientam um conjunto capaz de estimular experiências sensoriais envolventes. Este panorama tem apresentado proveito no sentido de disseminar aplicações em áreas como entretenimento, indústria, manufatura, processo de

desenvolvimento de produtos e educação [Fujo et al. 2022].

Neste cenário, a RA destaca-se no sentido de enriquecer o mundo em que existimos com elementos que, por meios tradicionais e/ou naturais, não podem ser contemplados em um ambiente. Este conceito tenciona a inserção de objetos gerados eletronicamente por dispositivos computacionais no espaço inato, com o objetivo de sofisticar a percepção da realidade.

Formalmente, a taxonomia do termo RA direciona o aprimoramento gráfico computacional de fluxos de vídeo capturados em tempo real do mundo factual [Milgram and Kishino 1994]. Logo, a RA melhora a realidade pela integração e/ou co-existência de objetos virtuais e reais no sentido de incrementar os sentidos dos seres humanos [Azuma 1997]. Neste sentido, os conceitos e definições apresentam distintas possibilidades para aplicações da supracitada na educação.

Por conseguinte, o emprego de sistemas digitais que utilizam o núcleo tecnológico da RA em ambientes pedagógicos tem como potencial inerente a construção de um processo educativo multimodal. Esta premissa relaciona-se a fenômenos de ensino capazes de fornecer determinado aprendizado ativo aos alunos, e aos professores múltiplas maneiras de apresentar os conteúdos didáticos [Potapchuk et al. 2023].

Logo, as experiências educacionais em RA visam deslocar a aquisição de conhecimento pelos alunos da perspectiva teórica para o aprendizado ativo por meio de elementos informativos, interativos e realistas [Valdivia Rodriguez and Duarte 2024]. Isto posto, as práticas pedagógicas apoiadas pela RA estimulam a experimentação dos conteúdos educacionais pelos estudantes, além de condicionar a retenção de conceitos complexos [Shaleh Md Asari et al. 2024].

Neste aspecto, os benefícios associados ao uso da RA na educação são decorrentes da sua aplicabilidade multidisciplinar. Um exemplo refere-se à Biotecnologia, campo que exige dos alunos domínio entre teoria/prática de processos biológicos complexos e estruturas moleculares. Neste cenário, o uso da RA através de laboratórios virtuais apresenta potencial transformador para o engajamento dos estudantes com os objetos de conhecimento, além de promover aprendizado colaborativo [Hegade et al. 2024].

Em sequência, outro campo para emprego da RA relaciona-se à primeira infância. As características deste nível educacional requerem dos professores criatividade em criar fenômenos de aprendizagem eficientes/impactantes no sentido de potencializar o desenvolvimento cognitivo e motor das crianças. Logo, a experimentação de conteúdos sobre Sistema Solar com objetos inseridos no aprendizado pela RA origina experiências de ensino interativas para estimular a resolução de problemas na EI [Fernlie et al. 2024].

Assim, a aplicação da RA no ambiente educacional incentiva experiências de ensino imersivas, onde a interação e o envolvimento dos alunos com os objetos de conhecimento são elementos proeminentes. Portanto, as práticas pedagógicas realizadas em conjunto com esta TDIC têm o potencial de inovar a transmissão do conhecimento pelos professores e favorecer a abstração de conceitos complexos pelos alunos por meio de um aprendizado ativo.

3. Percurso Metodológico

Esta seção tem a finalidade de expor as fases percorridas para atingir os objetivos deste artigo. Em particular, este projeto passou pela aprovação do comitê de ética¹ e as etapas deste método possuem caráter iterativo, complementar e possuem ecossistemas individuais [Wazlawick 2009]. Desta maneira, tornou-se possível orientar a construção de um estudo metódico para viabilizar a aplicação da RA na ES.

3.1. Investigação Inicial e Lócus da Pesquisa

A identificação da natureza e nuances deste artigo aliado à relevância do tema ocorreu através de uma pesquisa bibliográfica qualitativa, concomitante à investigação exploratória e correlacional. Logo, os procedimentos adotados em conjunto conduzem à difusão de um conhecimento descritivo e específico sobre determinado tema, aliado às suas respectivas variáveis [Aragão and Mendes Neta 2017].

Neste sentido, o estudo epistemológico percorrido nesta etapa orientou a construção do embasamento teórico utilizado em harmonia pela estrutura deste artigo. Ademais, a investigação inicial estimulou a contextualização do tema, além de definir a lacuna em que este trabalho está posicionado. Por conseguinte, a pesquisa bibliográfica permitiu a consolidação da hipótese e a investigação realizada por este projeto.

Isto posto, as variáveis estabelecidas direcionaram a escolha do cenário de pesquisa. Logo, no tocante ao local de realização do projeto, optou-se por uma instituição de ensino com nível educacional em ES localizada na cidade de Francisco Beltrão no Brasil, a saber: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Desta maneira, o público-alvo relaciona-se à disciplina Arquitetura de Computadores (AC) com montante de estudantes participantes da pesquisa e curso com a seguinte definição, a saber: 30 acadêmicos integrantes do curso Sistemas de Informação.

Todavia, a participação de apenas 9 dos 30 participantes inicialmente previstos revelou-se suficiente para o cumprimento dos objetivos propostos. Portanto, a amostra possibilitou uma abordagem qualitativa, garantindo a coleta de dados consistentes e detalhados, suficientes para explorar as dimensões propostas no estudo. Assim, a seleção dos 9 participantes representantes do público-alvo garantiu a diversidade necessária, mantendo a validade científica e a relevância dos resultados.

3.2. Seleção da Ferramenta

A natureza qualitativa deste artigo proporciona a avaliação da conveniência do uso da RA para engajar estudantes durante o ensino de conceitos sobre AC através de práticas pedagógicas imersivas e interativas. Isto posto, a escolha de uma ferramenta com núcleo tecnológico composto pela tecnologia supracitada, além de ser idônea em apoiar determinado ensino teórico com aprendizado ativo, concentra-se em um processo mandatário.

Logo, a segunda etapa do PM forma um Mapeamento Sistemático de Literatura (MSL) para identificar um sistema a ser usado na prática dos objetivos deste artigo. Esta modalidade de pesquisa permite a revisão de um escopo de variáveis a fim de construir uma visão ampla sobre determinado tema [Moher et al. 2015]. Neste sentido, as obras de [Valentim et al. 2017, Avellar and Barbosa 2019, Dermeval et al. 2020] orientaram a realização das etapas descritas a seguir.

¹ CAAE 86696825.3.0000.0177

3.2.1. Questões de Pesquisa e Estratégia de Busca

O planejamento inicial ocorreu a partir da definição do problema responsável por orientar a execução do MSL. Neste aspecto, a transmissão dos saberes educacionais apoiada por um sistema digital constituído pela tecnologia RA formalizou a confecção das Questões Norteadoras (QN). Desta maneira, a seguinte lista com marcadores apresenta a formulação das supracitadas.

- QN 1: Quais ferramentas de RA têm sido utilizadas em contextos educacionais?
- QN 1.1: Quais ferramentas abordam o ensino de Computação?
- QN 1.2: Existem sistemas digitais embarcados em RA capazes de apoiar o ensino de dispositivos computacionais?
- QN2: Qual é o nível educacional alvo das pesquisas?

Logo, o perfil exploratório e existencial apresentado pelas perguntas de pesquisa capacita o estudo no sentido de entender as características relacionadas à inserção da RA no contexto educacional e esclarecer quais meios são empregados neste processo [Easterbrook et al. 2008]. Neste sentido, a construção de um catálogo de recursos digitais associado ao nível educacional investigado possibilita a escolha de uma ferramenta capaz de ser empregada na transmissão dos saberes computacionais.

Além disso, a técnica utilizada no processo de pesquisa por obras considerou como elemento primordial pesquisas realizadas no Brasil. Este procedimento ocorreu em virtude da conveniência imposta entre o idioma aplicado nos conteúdos e interfaces de usuário dos sistemas digitais em relação à língua nativa do público-alvo. Desta maneira, o escopo deste MSL teve interesse em prover sistemas digitais construídos e aplicados segundo o contexto de ensino brasileiro [Brasil 2023].

Neste sentido, com o objetivo de apetrechar as características citadas, o procedimento de busca constituiu-se por uma busca manual com as palavras-chave Realidade Aumentada e Educação na base de dados referente à Sociedade Brasileira de Computação denominada SBC-OpenLib (SOL)². A supracitada agrega um acervo com publicações de anais científicos; periódicos de visibilidade internacional; livros ou monografias, em uma biblioteca digital de acesso aberto.

Portanto, a referida escolha permitiu a condução da busca manual nos anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação e no Workshop de Informática na Escola. Os respectivos eventos científicos possuem edições anuais e estão contidos no Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE). Assim, este escopo possibilita a seleção de obras com determinado nível de relevância no âmbito científico do Brasil [SOL 2025].

3.2.2. Critérios de Seleção

Os parâmetros utilizados no trâmite de seleção de obras tiveram como objetivo atender aos perfis apresentados pelas perguntas de pesquisa. Isto posto, os critérios utilizados para incluir e excluir obras foram organizados a fim de atender à busca manual. Neste sentido, as investigações realizadas com destino a conceber experiências de ensino em RA promoveram o fator proeminente para a inserção de obras.

²<https://sol.sbc.org.br/>

Logo, a escolha decorreu com obras produzidas entre o quadriênio 2020 e 2024, em que artigos aceitos para publicação nos anais do CBIE foram escolhidos. Isto ocasionou a escolha de estudos com caráter aplicado em desenvolver sistemas digitais com RA e explorar ferramentas de mercado embarcadas com RA em vários níveis educacionais. Portanto, o processo de exclusão refutou obras oriundas da literatura cinza (estudos não revisados por pares) e revisões sistemáticas de literatura que não contém perfil aplicado.

Consequentemente, a conduta sistêmica utilizada para compor a tabela responsável por elucidar as prerrogativas das QN 1 e 2 foi obtida através de uma seleção rápida (1º filtro). Isto posto, o primeiro momento constituiu-se pela leitura realizada por um pesquisador do título, resumo e metodologia das obras para aplicar os critérios de inclusão e exclusão, além de compor o panorama geral de aplicação da RA na educação.

Após isto, o catálogo inicial possibilitou a realização de uma segunda rodada de escolha (2º filtro) com uma análise minuciosa para compor a seleção final. Este instante promulga o contexto relacionado às subquestões da QN 1 e aborda o ensino de Computação com apoio da RA. Assim, através de uma análise das funcionalidades, enfim foi selecionada a ferramenta empregada neste projeto.

3.2.3. Extração dos Dados

A execução do planejamento desta pesquisa através da busca manual apresentou um montante de 15 obras que, posteriormente com a aplicação do 1º filtro, ocasionou a retirada de 3 artigos. Em sequência, a seleção rápida conduziu à extração dos seguintes itens das obras, a saber: sistemas encontrados; sistema de autoria; nível educacional; aborda computação. Neste sentido, a Tabela 1 apresenta o catálogo inicial obtido no primeiro momento e os respectivos elementos extraídos.

Precisamente, a resposta das QN 1 e 2 é exposta pela Tabela 1, onde é evidenciada a aplicação da RA em diferentes níveis educacionais. Logo, as obras selecionadas contemplam o desenvolvimento de sistemas de autoria e a utilização de produtos digitais para construir práticas pedagógicas com o apoio da supracitada. Além disso, este catálogo demonstra um ensino interdisciplinar pela aplicação da RA para construir plataformas idôneas em criar materiais instrucionais personalizados.

Após isto, a execução do 2º filtro trouxe o esclarecimento sobre as subquestões da QN 1, além de permitir a definição da ferramenta ID3 como sistema utilizado neste projeto. O *ARbrnx* representa um recurso instrucional digital criado na modalidade de *AR-book* (livro em Realidade Aumentada) para dispositivos móveis [dos Santos et al. 2024]. Este sistema permite a sobreposição de objetos virtuais em objetos de referência no ambiente educacional, a fim de construir um aprendizado ativo no tocante aos saberes computacionais. A Tabela 2 apresenta as informações extraídas na seleção final pelo 2º filtro.

Assim, os aspectos educacionais e de desenvolvimento deste sistema permitem a manipulação de dispositivos computacionais como placa-mãe (PM), fonte de alimentação (PSU), unidade central de processamento (UCP) e unidade de processamento gráfico (UPG). Portanto, o *ARbrnx* fornece informações adicionais para envolver os alunos com os conteúdos em direção a apoiar a criação de determinado aprendizado ativo, imersivo e personalizado desta pesquisa.

ID	Sistemas Encontrados	Sistema de Autoria	Nível Educacional	Aborda Computação	Referências
1	<i>Merge Explorer</i>	Não	Educação Básica	Não	[Belém et al. 2024]
2	<i>Safari Escolar</i>	Sim	Educação Infantil	Não	[Primo et al. 2024]
3	<i>ARbrnx</i>	Sim	Educação Básica/Superior	Sim	[dos Santos et al. 2024]
4	<i>Animal 4D</i>	Sim	Educação Básica	Não	[da Silva et al. 2023]
5	<i>Educaquim</i>	Sim	Educação Básica	Não	[Angelin et al. 2023]
6	<i>Metaverse Studio</i>	Não	Educação Básica/Superior	Não	[dos Santos et al. 2023]
7	<i>CubeKids</i>	Não	Educação Infantil	Não	[da Cruz et al. 2023]
8	<i>CiênciAR</i>	Sim	Educação Básica	Não	[das Mercês Silva et al. 2022]
9	<i>Visual3D</i>	Sim	Educação Básica	Não	[da Silva and Medeiros 2022]
10	<i>EducAR</i>	Não	Educação Básica	Não	[Vahldick et al. 2022]
11	<i>TrATAR</i>	Sim	Educação Infantil	Não	[Paiva and Queiroz 2022]
12	<i>ARSandBox</i>	Não	Educação Superior	Não	[Jurgina et al. 2021]

Tabela 1. Seleção Rápida

ID	Aspectos educacionais		
	Aborda dispositivos computacionais	Estilo de aprendizado	Método de ensino
ID3	Sim	Aprendizado ativo	Ensino tradicional e/ou centrado no aluno
	Aspectos de desenvolvimento		
	Método de desenvolvimento <i>Crystal Clear</i>	Requisitos funcionais	Requisitos não funcionais
		Execução em tempo real	Multiplataforma
		Reconhecimento de marcadores	Ser gratuito
		Renderização de elementos em duas dimensões (2D) e três dimensões (3D)	Fácil usabilidade
		Cenas em RA personalizáveis	Desempenho responsivo e suave

Tabela 2. Seleção Final (adaptado de [dos Santos et al. 2024])

3.3. Oficina Pedagógica

A terceira etapa do procedimento metodológico está interligada ao constructo pedagógico objetivado por este artigo. Sendo assim, o elemento precursor relacionado à aplicação da

pesquisa denota um estudo de viabilidade com o professor responsável pela disciplina AC, onde foi apresentado o sistema *ARbrnx* e as diretrivas imersivas almejadas, além da estratégia empregada no recrutamento de alunos para a experiência de aprendizagem.

Sequencialmente, a anuência para a realização do planejamento ocorreu pela assinatura do Termo de Autorização Institucional, o que concedeu aos pesquisadores a oportunidade de preparar um laboratório de informática na modalidade de espaço educacional em que decorrerá a investigação anunciada por este artigo com o sistema *ARbrnx* e a tecnologia imersiva RA.

Neste sentido, o perfil educacional aplicado no desenvolvimento da oficina pedagógica (OP) teve como eixo os princípios de interação e mediação dispostos na Teoria Sociocultural, acolá do aprender-fazendo apresentado no Construcionismo [Vygotsky et al. 1987, Vygotsky 1988, Papert and Harel 1991, Harel and Papert 1991]. Dito isto, os pesquisadores exerceram o papel de mediação das informações, enquanto os alunos entraram em uma participação ativa e autônoma na construção do conhecimento.

Logo, os pesquisadores ocuparam a função de identificar o entendimento prévio dos estudantes para compor o avanço cognitivo, além de apresentar possibilidades de resolução de problemas e definir os nuances de uma aprendizagem significativa. Precisamente, os estudantes atuaram no centro do ensino com o sistema *ARbrnx* através de um aprendizado experimental, ou seja, a exposição das informações iniciais foi apresentada pelos pesquisadores e, com apoio do *ARbrnx* os acadêmicos construíram o conhecimento.

Neste sentido, a seguinte estrutura compôs o constructo pedagógico, a saber: apresentação inicial dos objetivos da pesquisa; escopo de informação abordado pelos pesquisadores na OP; questões prognósticas para avaliar a noção inicial dos acadêmicos frente ao tema; ciclo de aprendizado complementar experimental (CACE) sobre componentes de computadores modernos; revisão das informações lecionadas e questionários avaliativos.

Por conseguinte, o CACE ocupou-se da evolução do paradigma computacional, mormente do avanço de sistemas operacionais e sua relação com o surgimento da RA. Este processo teve proveito em minuciar o tema abordado na OP, além de salientar a relação entre os avanços computacionais e apresentar aos estudantes como a tecnologia imersiva utilizada na experiência educacional foi criada no passado recente.

Rigorosamente, esta parte da experiência de aprendizagem teve o objetivo de relacionar o conhecimento prévio dos acadêmicos sobre o campo digital, com os primeiros avanços elaborados na concepção do *Multiplexed Information and Computing Service* e do *UNIX*, acolá de apresentar o papel destes no surgimento das tecnologias imersivas que compõem o *Reality-Virtuality Continuum*, principalmente no tocante à RA [Corbató et al. 1971, Ritchie 1984, Milgram et al. 1995].

Portanto, os próximos momentos do CACE concederam aos acadêmicos a oportunidade de contemplar o conjunto de peças da estrutura física de PM, PSU, UCP e UPG, além de suas funções individuais e/ou coletivas através do recurso instrucional digital. Assim, os objetos de conhecimento de modelos de sistemas computacionais contidos no sistema *ARbrnx* concederam níveis de visualização adaptáveis aos gestos e movimentos dos alunos para aumentar o engajamento com os conceitos teóricos da disciplina AC.

3.4. Coleta de Dados

Após a realização da OP, os alunos responderam a um artefato (Tabela 3) idealizado para avaliar os aspectos gerais do *ARbrnx* (questionário 1) e indicar o impacto ocasionado pela inserção da RA na Educação (questionário 2). Os supraditos foram embasados pela *Pedagogical Ergonomic Tool for Educational Software Evaluation* (PETESE) [Coomans and Lacerda 2015]. A PETESE é uma ferramenta estruturada com critérios sistemáticos de avaliação utilizada para analisar a qualidade e identificar determinada conveniência de recursos educacionais em favorecer o progresso educacional.

ID	Questões questionário 1	ID	Questões questionário 2
Q1P1	O <i>ARbrnx</i> ajudou você a entender melhor os componentes do computador de forma clara e interativa?	Q2P1	A RA ajudou você a visualizar e entender melhor os componentes do computador?
Q1P2	O conteúdo apresentado no <i>ARbrnx</i> é adequado para o seu nível de conhecimento sobre hardware?	Q2P2	A RA tornou a atividade mais envolvente e motivadora para o seu aprendizado?
Q1P3	A experiência de aprendizado com o <i>ARbrnx</i> foi motivadora e envolvente?	Q2P3	A RA ajudou você a conectar os conceitos teóricos com aplicações práticas de forma mais clara?
Q1P4	O aplicativo funcionou corretamente no dispositivo utilizado, sem falhas ou travamentos significativos?	Q2P4	Você encontrou dificuldades para visualizar corretamente os objetos virtuais em 2 e 3 dimensões?
Q1P5	Você percebeu algum problema técnico que atrapalhou sua experiência com o <i>ARbrnx</i> ?	Q2P5	A interface da RA foi fácil de usar e entender?
Q1P6	A navegação dentro do <i>ARbrnx</i> foi intuitiva e fácil de entender?	Q2P6	O tempo necessário para aprender a interagir com os objetos virtuais em 2 e 3 dimensões foi adequado e não gerou frustração?
Q1P7	O tempo necessário para aprender a utilizar o aplicativo foi adequado e não gerou dificuldades?	Q2P7	A RA permitiu que você explorasse os componentes do computador de forma detalhada e interativa?
Q1P8	O <i>ARbrnx</i> respondeu de maneira eficiente aos seus comandos, sem atrasos excessivos?	Q2P8	Os modelos em 3D foram úteis para entender como os componentes funcionam e se conectam entre si?
Q1P9	As funcionalidades do <i>ARbrnx</i> foram úteis para explorar e visualizar os componentes do computador?	Q2P9	A tecnologia de RA funcionou de maneira fluida e sem interrupções durante a atividade?
Q1P10	O design do <i>ARbrnx</i> tornou a experiência mais agradável e compreensível?	Q2P10	A qualidade visual dos modelos em RA foi satisfatória e ajudou na compreensão dos componentes?

Tabela 3. Instrumento Aplicado

Precisamente, a PETESE categoriza os critérios de avaliação com uma perspectiva holística organizada com as seguintes características, a saber: coerência dos objetivos educacionais, clareza conceitual e adequação do conteúdo; ausência de problemas de exe-

cução sistêmica, estabilidade, compatibilidade multiplataforma; usabilidade, carga cognitiva, facilidade de interação; funcionalidades eficazes e úteis; coerência estética, clareza de elementos visuais, harmonia de cores.

Neste cenário, sucintamente, os atributos supraditos são organizados nas seguintes dimensões, notadamente: pedagógica (DP), técnica (DT), ergonômica (DE), funcional (DF) e estética (DES). Desta maneira, as cores presentes na Tabela 3 identificam precisamente as perguntas elaboradas para aferir os critérios definidos, designadamente: azul (DP), laranja (DT), verde (DE), roxo (DF) e amarelo (DES).

Portanto, as opções de resposta apresentadas nos questionários foram organizadas na escala *Likert* para capturar os nuances de opinião de cada estudante, além do grau de concordância, satisfação e/ou adequação com os fenômenos apresentados na OP [Matas 2018]. Logo, apresentaram-se estas escolhas, a saber: Concordo totalmente (A), Concordo (B), Neutro (C), Discordo (D), Discordo totalmente (E). Assim, as conquistas alcançadas pela experiência educacional com apoio da RA foram coletadas através da transformação das atitudes, opiniões/percepções em dados estatísticos e comparativos.

4. Resultados e Discussão

As repercussões conquistadas pela execução do percurso metodológico desta pesquisa, especialmente no tocante à execução da experiência de aprendizagem, perpetuam o deslocamento da hipótese abordada por este artigo para uma suposição admissível. Logo, os ganhos alcançados apresentam o cumprimento da investigação realizada por um estudo qualitativo, além dos dados extraídos com o instrumento de coleta de dados (Tabela 3).

Dito isto, a curva de resultados inicia-se pela apresentação dos nuances obtidos pela aplicação da RA no campo educacional computacional na ES através de um recurso instrucional digital. Logo, a Figura 1 manifesta o consenso dos estudantes sobre a experiência educacional e o cumprimento portentoso das dimensões estruturais embasadas pela PETESE em direção a fomentar um aprendizado holístico.

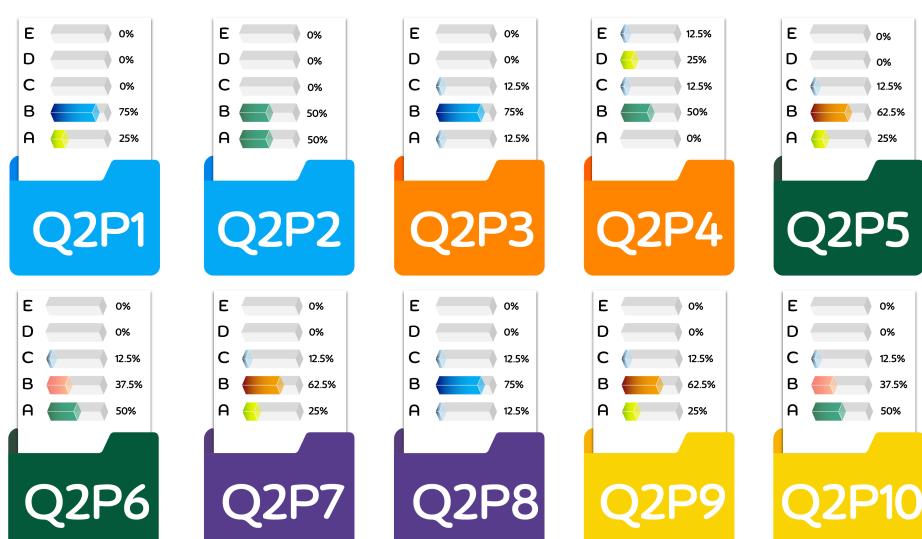


Figura 1. Dados Obtidos com o Instrumento de Pesquisa (Questionário 2)

Neste sentido, os dados extraídos pelas Q2P1, Q2P2, Q2P5 e Q2P6 demonstra-

ram os benesses da RA em deslocar objetos de conhecimento com alta densidade teórica e/ou informações que não podem ser percebidas naturalmente pela utilização dos sentidos dos seres humanos para um campo experimental. Pontualmente, os acadêmicos podem interagir com ações reflexivas e interativas por meio de objetos virtuais criados computacionalmente para interpretar a composição de modelos de um sistema de computação.

Justamente, as resultas alcançadas pela aplicação da RA no campo computacional na ES formalizam um ensino minucioso, onde os estudantes podem compor e/ou descompor a estrutura científica computacional pelo engajamento com os elementos digitais ávidos em apresentar informações adicionais sobre os tópicos de conhecimento, além de apresentar a composição irrefutável do processo cognitivo proposto pela disciplina AC.

Ademais, os atributos técnicos e funcionais (Q2P3, Q2P4, Q2P7, Q2P8) da RA viabilizam uma educação multimodal pela utilização dos sentidos em ações reflexivas dos estudantes em relação ao escopo de ensino. Precisamente, os gestos e movimentos realizados em RA impactam diretamente em como as informações perlustradas na prática pedagógica são transformadas em conhecimento na estrutura mental. Logo, a educação em RA fomenta um aprendizado adaptável com incremento do raciocínio contextual.

Outrossim, os parâmetros relacionados à coerência estética (Q2P9, Q2P10) dos fenômenos científicos construídos em RA elevam a ovação dos objetivos educacionais em relacionar as informações educacionais acolá sua aplicação no espaço cultural. Justamente, a possibilidade da realização de um aprendizado personalizado com a associação do currículo acadêmico às demandas da sociedade enaltece o engajamento atrativo pelos estudantes acerca dos conhecimentos computacionais.

Dito isto, a exposição macroneitual supradita dos nuances alcançados pela temática entre RA e Educação concebe a avaliação do sistema *ARbrnx* para apoiar a construção gnoseológica sobre modelos de sistemas computacionais. Especificamente, a Figura 2 demonstra o cumprimento com excelência dos atributos definidos pela PETESE através das respostas dos acadêmicos ao final da OP.

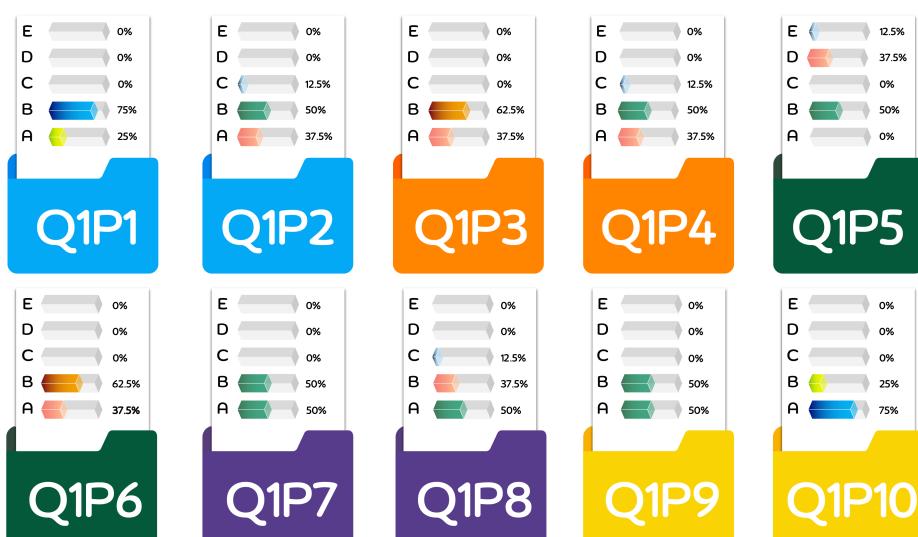


Figura 2. Dados Obtidos com o Instrumento de Pesquisa (Questionário 1)

Neste sentido, a análise do instrumento de coleta de dados verificou a adequação

do *ARbrnx* em ser utilizado como produto educacional no contexto de AC. Especificamente, as informações conquistadas com o questionário 1 constataram a qualidade dos aspectos gerais do recurso instrucional digital do livro em RA em prover o engajamento pelos docentes para construir um aprendizado centrado nos estudantes.

Logo, o perfil pedagógico e ergonômico (Q1P1, Q1P2, Q1P5, Q1P6) do *ARbrnx* deslocou a OP para o campo imersivo e interativo através da manipulação dos objetos teóricos de conhecimento no tipo de elementos virtuais multimodais. Como exemplo, um dos fenômenos científicos abordados na CACE refere-se ao soquete contido em modelos de PM denominado *AM4* criado pela *Advanced Micro Devices* [AMD 2025].

Neste cenário, através do *ARbrnx* os estudantes investigaram a estrutura do soquete, o local de encaixe dos pinos de processadores, o ponto de fixação dos dispositivos de refrigeração (*cooler box* e *water cooler*). Além disso, com as tags interativas com informações adicionais, os acadêmicos puderam complementar o aprendizado para interpretar a estrutura teórica computacional e sua aplicação no mundo real.

Dito isto, os atributos estéticos (Q1P9, Q1P10) dos modelos digitais em 3D do sistema supradito apresentaram aos acadêmicos uma versão aprimorada de visualização do espaço educacional. Precisamente, as artes visuais digitais inseridas no *ARbrnx* demonstraram potencial para estimular o conjunto de habilidades dos estudantes necessárias em manter a concentração no aprendizado realizado durante o CACE.

Todavia, por ser um protótipo, determinados pontos de melhoria foram identificados nos quesitos técnicos e funcionais (Q1P3, Q1P4, Q1P7, Q1P8), especialmente no tocante ao montante pequeno de tags interativas. Além disto, a existência de níveis de qualidade gráfica dos objetos 3D tem o potencial de aumentar o desempenho de execução do sistema em distintos dispositivos móveis a fim de beneficiar a experiência dos usuários.

Portanto, os resultados alcançados demonstram o potencial da RA na construção do futuro da educação computacional e estimular o desenvolvimento das habilidades humanas em práticas educacionais holísticas. Assim, as opiniões coletadas confirmaram o viés pragmático do *ARbrnx* para enriquecer o ensino de modelos de sistemas computacionais através de ações reflexivas em um aprendizado personalizado às necessidades individuais dos estudantes.

5. Considerações Finais

A consistência do emprego da RA na educação computacional identificada por este artigo ostenta os benesses desta tecnologia imersiva em viabilizar a realização de um ensino teórico com aplicação prática de conceitos científicos. Logo, a construção de um aprendizado centrado nos alunos, aliada à RA, cria explicações detalhadas e realistas para aumentar o interesse pelo aprendizado por elementos interativos multimodais.

Notadamente, o sistema digital *ARbrnx* promoveu de uma maneira mais intuitiva e atrativa a experimentação do ensino pelos estudantes, além de aumentar a retenção de conceitos complexos. Portanto, este recurso instrucional digital tornou real a relação entre os componentes de computadores modernos e seu uso no cotidiano dos acadêmicos. Assim, o construto pedagógico realizado na OP concebeu o progresso do conhecimento prévio dos alunos para um viés contextualizado e inclusivo.

6. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação (PPGEEC) da UTFPR - Campus Pato Branco.

Referências

- AMD (2025). Together we advance. [Online; accessed 08-junho-2025].
- Angelin, D., Varela, P. J., Angelin, R., Rohling, A. J., Leite, M. D., and Silva, F. A. (2023). Educaquim: um aplicativo de realidade aumentada para simulações em química aplicada ao ensino médio. In *Workshop de Informática na Escola (WIE)*, pages 1358–1363. SBC.
- Aragão, J. W. M. d. and Mendes Neta, M. A. H. (2017). Metodologia científica. *UFBA*.
- Avellar, G. M. N. and Barbosa, E. F. (2019). Virtual and augmented reality in the teaching and learning of programming: a systematic mapping study. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, volume 30, page 664.
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: teleoperators & virtual environments*, 6(4):355–385.
- Belém, J. R., Antunes, H. I., and Trindade, G. (2024). Explorando o uso da realidade aumentada e realidade virtual no ensino de ciências naturais para alunos do fundamental ii. In *Anais do XXX Workshop de Informática na Escola*, pages 176–186, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Brasil (2023). *LDB: Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional*. Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, Brasília, DF, 7^a ed. edition. Conteúdo: Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – Lei nº 9.394/1996; Lei nº 4.024/1961.
- Coomans, S. and Lacerda, G. S. (2015). Petese, a pedagogical ergonomic tool for educational software evaluation. *Procedia Manufacturing*, 3:5881–5888.
- Corbató, F. J., Saltzer, J. H., and Clingen, C. T. (1971). Multics: the first seven years. In *Proceedings of the May 16-18, 1972, spring joint computer conference*, pages 571–583.
- Cruz, A., Junior, M. A., Neto, G. C., Neto, C. S., Teixeira, M., Cruz, P., Barbosa, K., and Brito, C. (2023). Aplicação de jogos educativos baseados em realidade aumentada como estratégia de auxílio na alfabetização de crianças com síndrome de down. In *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 509–520, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- da Cruz, A. K. B. S., de Aquino Junior, M. A., Neto, G. d. O. C., Neto, C. d. S. S., Teixeira, M. M., da Cruz, P. T. M. B., Barbosa, K. B., and Brito, C. P. L. (2023). Aplicação de jogos educativos baseados em realidade aumentada como estratégia de auxílio na alfabetização de crianças com síndrome de down. In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, pages 509–520. SBC.

- da Silva, A. M. and Medeiros, F. P. A. (2022). Uma ferramenta baseada em realidade aumentada para enriquecer à aprendizagem de tecnologias sociais de convivência com o semiárido. In *Workshop de Informática na Escola (WIE)*, pages 296–307. SBC.
- da Silva, R. B., de Lima, M. E. S., Leitão, R. T., da Silva, R. S., and da Mata L Filho, J. (2023). Explorando a realidade aumentada como recurso para o ensino de ciências: Uma abordagem focada no estudo dos animais. In *Workshop de Informática na Escola (WIE)*, pages 716–726. SBC.
- das Mercês Silva, S., Piedade, A., Silva, K., Araújo, F. P. O., and de Araujo, J. (2022). Ferramenta com realidade aumentada para o ensino de ciências exatas contextualizado ao ciclo de queimadas na amazônia. In *Workshop de Informática na Escola (WIE)*, pages 308–318. SBC.
- das Nações Unidas, O. (2024). Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/4>. Acesso em: 20 de novembro de 2024.
- Dermerval, D., Coelho, J. A. d. M., and BITTENCOURT, I. I. (2020). Mapeamento sistemático e revisão sistemática da literatura em informática na educação. *JAQUES, Patrícia Augustin; SIQUEIRA, Sean; BITTENCOURT, Ig; PIMENTEL, Mariano. (Org.) Metodologia de Pesquisa Científica em Informática na Educação: Abordagem Quantitativa. Porto Alegre: SBC.*
- dos Deputados, C. (2024). Novo Plano de Educação institui metas para a educação brasileira até 2034. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/1077593-novo-plano-de-educacao-institui-metas-para-a-educacao-brasileira-ate-2034/>. Acesso em: 20 de novembro de 2024.
- dos Santos, B. P., Leite, M. D., and Varela, P. J. (2023). Plataforma metaverse studio e realidade aumentada: aplicações ao contexto educacional. In *Anais do XXIX Workshop de Informática na Escola*, pages 1182–1193. SBC.
- dos Santos, B. P. C., Leite, M. D., and Varela, P. J. (2024). Educação inclusiva em realidade aumentada: Recurso instrucional digital para apoiar a formação de alunos no ensino de computação. In *Anais do XXX Workshop de Informática na Escola*, pages 549–560, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Easterbrook, S., Singer, J., Storey, M.-A., and Damian, D. (2008). Selecting empirical methods for software engineering research. *Guide to advanced empirical software engineering*, pages 285–311.
- Fernlie, S. C., Kurniawan, G. T., Suri, P. A., and Fajar, M. (2024). Application of augmented reality in early childhood education: A case study on children's cognitive and motoric development. In *2024 6th International Conference on Cybernetics and Intelligent System (ICORIS)*, pages 1–5.
- Fujo, S. W., Khder, M. A., and Safdar, S. (2022). Immersive technology systematic review and challenges. In *2022 ASU International Conference in Emerging Technologies for Sustainability and Intelligent Systems (ICETSIS)*, pages 186–191.
- Harel, I. E. and Papert, S. E. (1991). *Constructionism*. Ablex Publishing.

- Hegade, G., Patil, P. B., Desai, S., and Basawaraj, B. (2024). Enhancing engineering education: Exploring the impact of augmented reality in learning biotechnology. In *2024 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE)*, pages 1–5.
- Jurgina, L. Q., Bezerra, J. I. M., Torchelsen, R. P., and Júnior, L. S. R. (2021). Relato sobre a utilização de ferramenta com realidade aumentada no auxílio do ensino-aprendizagem de topografia em cursos superiores. In *Workshop de Informática na Escola (WIE)*, pages 128–136. SBC.
- Matas, A. (2018). Diseño del formato de escalas tipo likert: un estado de la cuestión. *Revista electrónica de investigación educativa*, 20(1):38–47.
- Milgram, P. and Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12):1321–1329.
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., and Kishino, F. (1995). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In *Telemanipulator and telepresence technologies*, volume 2351, pages 282–292. International Society for Optics and Photonics.
- Moher, D., Stewart, L., and Shekelle, P. (2015). All in the family: systematic reviews, rapid reviews, scoping reviews, realist reviews, and more. *Systematic reviews*, 4:1–2.
- Paiva, P. V. and Queiroz, F. S. (2022). Tratar: Jogos com realidade aumentada utilizados como incentivo no desenvolvimento das capacidades comunicativa, cognitiva e espacial de crianças autistas. In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, pages 463–472. SBC.
- Papert, S. and Harel, I. (1991). Situating constructionism. *constructionism*, 36(2):1–11.
- Potapchuk, O., Hevko, I., Lutsyk, I., Rak, V., Hiltay, L., and Monko, R. (2023). The use of immersive technologies to implement a multimodal approach in the educational process. In *2023 13th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, pages 660–665.
- Primo, J., Amaral, J., Carvalho, K., Horbylon, C., and Nascimento, T. (2024). Safari escolar: Uma aventura em busca dos animais com realidade aumentada. In *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 2836–2845, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Ritchie, D. M. (1984). The unix system: The evolution of the unix time-sharing system. *AT&T Bell Laboratories Technical Journal*, 63(8):1577–1593.
- Shaleh Md Asari, M. K., Suaib, N. M., Abd Razak, M. H., Ahmad, M. A., and Shaleh, N. M. (2024). Empowering skill-based learning with augmented reality and virtual reality: A case study. In *2024 IEEE International Symposium on Consumer Technology (ISCT)*, pages 225–229.
- SOL (2025). Sociedade brasileira de computação. <https://sol.sbc.org.br/index.php/indice/faq>. Acesso em: 25 de abril de 2025.
- Tori, R. and da Silva Hounsell, M. (2020). Introdução a realidade virtual e aumentada. *Sociedade Brasileira de Computação*.

- Vahldick, A., de Miranda, R., de Marques, C., Ferreira, M. G., and Schoeffel, P. (2022). Segunda guerra mundial experimentada com realidade aumentada: a caminho de um ambiente de autoria para professores e alunos. In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, pages 378–389. SBC.
- Valdivia Rodriguez, J. P. and Duarte, E. V. (2024). Empowering education through marker-based augmented reality: Bridging gaps in quality and accessibility. In *2024 IEEE ANDESCON*, pages 1–5.
- Valentim, N. M. C., Silva, W., and Conte, T. (2017). Mapeamento sistemático para a geração de um framework que projetam e/ou avaliam a usabilidade nos estágios iniciais do processo de desenvolvimento de software. Technical report, USES Technical Report TRUSES-2017-0003, Manaus. Disponível em: <http://uses>
- Vygotsky, L. S. (1988). A formação social da mente. brasileira. *São Paulo, Martins*.
- Vygotsky, L. S. et al. (1987). Pensamento e linguagem.
- Wazlawick, R. S. (2009). *Metodologia de pesquisa para ciência da computação*, volume 2. Elsevier Rio de Janeiro.