

Objeto Tangível Baseado no Círculo Trigonométrico para Estudo de Conceitos de Trigonometria

Title: *Tangible Object Based on the Trigonometric Circle for Studying Trigonometry Concepts*

Título: *Objeto Tangible Basado en el Círculo Trigonométrico para Estudiar Conceptos de Trigonometría*

Gabriel de Souza Leitão
Instituto Federal do Amazonas (IFAM)
ORCID: [0000-0001-8542-7596](https://orcid.org/0000-0001-8542-7596)
gabriel.leitao@ifam.edu.br

Edwin Monteiro
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
ORCID: [0000-0002-9623-3233](https://orcid.org/0000-0002-9623-3233)
edwin@icomp.ufam.edu.br

Raimundo da Silva Barreto
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
ORCID: [0000-0001-8494-4225](https://orcid.org/0000-0001-8494-4225)
rbarreto@icomp.ufam.edu.br

Resumo

Este artigo apresenta uma plataforma de educação apoiada por tecnologia que integra manipulativos tangíveis e métricas de avaliação da aprendizagem. A plataforma é composta por quatro partes: (i) Compositor, responsável pela geração de material didático e inserção de objetos tangíveis; (ii) Player Tangível, interface web para execução de aulas; (iii) Servidor, que gerencia a sala de aula virtual e a comunicação entre dispositivos; e (iv) Analíticos, que calcula métricas de aprendizagem com base na interação dos estudantes. Um estudo de caso exploratório foi realizado para analisar indícios de aprendizagem associados ao uso do objeto tangível e a percepção dos estudantes. Os resultados mostraram que o objeto tangível é promissor, com aceitação superior a 96% em utilidade percebida, 88% em satisfação percebida e 90% em intenção de uso.

Palavras-chave: Objetos Tangíveis; Ambiente Tangível de Aprendizagem; Trigonometria; Avaliação da Aprendizagem.

Abstract

This article presents a technology-supported educational platform that integrates tangible manipulatives and learning assessment metrics. The platform consists of four parts: (i) Composer, responsible for generating didactic material and inserting tangible learning objects; (ii) Tangible Player, a web-based interface for lesson execution; (iii) Server, which manages the virtual classroom and device communication; and (iv) Analytics, which calculates learning metrics based on student interaction. An exploratory case study was conducted to analyze learning indicators associated with the use of the tangible object and students' perception. The results showed that the tangible object is promising, with acceptance rates above 96% for perceived usefulness, 88% for perceived satisfaction, and 90% for intention to use.

Keywords: Tangible Objects; Tangible Learning Environment; Trigonometry; Learning Assessment.

Resumen

Cite as: Leitão, G. S., Monteiro, E. & Barreto, R. S. (2026). Objeto Tangível baseado no Círculo Trigonométrico para Estudo de Conceitos de Trigonometria. Revista Brasileira de Informática na Educação, vol. 34, pp. 1539–1570. <https://doi.org/10.5753/rbie.2026.5991>.

Este artículo presenta una plataforma educativa basada en tecnología que integra materiales manipulativos tangibles y métricas de evaluación del aprendizaje. La plataforma se compone de cuatro partes: (i) Composer, encargada de generar material didáctico e insertar objetos tangibles; (ii) Tangible Player, interfaz web para la ejecución de clases; (iii) Servidor, que administra el aula virtual y la comunicación entre dispositivos; y (iv) Analítica, que calcula métricas de aprendizaje basadas en la interacción de los estudiantes. Se realizó un estudio de caso exploratorio para analizar indicios de aprendizaje asociados al uso del objeto tangible y la percepción de los estudiantes. Los resultados mostraron que el objeto tangible es prometedor, con una aceptación superior al 96 % en utilidad percibida, 88 % en satisfacción percibida y 90 % en intención de uso.

Palabras clave: *Objetos Tangibles; Entorno de Aprendizaje Tangible; Trigonometría; Evaluación del Aprendizaje.*

1 Introdução

Com a tecnologia cada vez mais integrada à vida das pessoas, para ser eficaz em seu papel social, a educação não poderia se alienar da revolução impulsionada pela emergente Indústria 4.0, com a adição de Inteligência Artificial, Internet das Coisas e Sistemas Ciber-físicos (Almeida, 2018). Entretanto, somente adicionar novas tecnologias não é suficiente para reduzir o fracasso escolar, sendo necessário atualizar metodologias e práticas pedagógicas de modo a tornar o ensino-aprendizagem mais atraente, além de considerar os diversos conhecimentos que os estudantes já trazem consigo (Pierre Bourdieu apud Nogueira e Nogueira, 2013).

O problema considerado neste trabalho pode ser expresso através da seguinte questão: *“de que forma a utilização de um ambiente educacional suportado por tecnologia, que integra recursos tangíveis ao processo de ensino-aprendizagem, impacta a dinâmica de interação e a eficácia na avaliação da aprendizagem e no acompanhamento dos estudantes frente a abordagens tradicionais?”*.

O objetivo principal deste trabalho é propor uma plataforma educacional baseada em tecnologia que integre manipulativos tangíveis e métricas de avaliação da aprendizagem, além de analisar como os manipulativos criados pelo modelo proposto podem auxiliar no processo de ensino-aprendizagem. Ademais, foram estabelecidos três objetivos específicos: (i) definir métricas de avaliação da aprendizagem que utilizem dados de interação com o ambiente tangível; (ii) analisar como a interação com objetos tangíveis pode apoiar a aprendizagem e produzir dados de interação úteis ao processo de acompanhamento dos estudantes; e (iii) analisar, de forma descritiva e exploratória, os resultados observados no uso do objeto tangível em relação a uma abordagem tradicional de ensino.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta brevemente a fundamentação teórica, incluindo a fundamentação pedagógica e epistemológica, ensino de matemática usando manipulativos e interfaces tangíveis. A Seção 3 resume os principais trabalhos relacionados. A Seção 4 descreve a abordagem proposta, particularmente a divisão em compositor, servidor, player tangível, analíticos de aprendizagem e as ferramentas para validação do método e construção do objeto tangível. A Seção 5 apresenta o estudo de caso e os resultados, ressaltando a descrição do estudo, os exercícios aplicados, e a análise dos resultados. Por fim, a Seção 6 conclui o artigo e sugere algumas extensões futuras.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Fundamentação Pedagógica e Epistemológica

A inserção dos recursos computacionais no processo de ensino-aprendizagem pode colaborar com a urgente demanda de atualizar as metodologias educacionais (Almeida, 2000). Há diversos métodos que visam à construção do conhecimento a partir da experiência, dentre os quais podemos citar: método por descoberta, educação emancipadora, conhecimento como construção progressiva e zona de desenvolvimento proximal.

- **Método por Descoberta.** Dewey (1971) propôs uma educação baseada no método científico, destacando a aquisição do conhecimento como um processo contínuo de reconstrução a partir da reflexão sobre experiências anteriores. Sua abordagem considera que toda experiência humana resulta de interações, e cabe ao professor entender o processo de aprendizagem dos alunos, conhecendo seus interesses, necessidades, capacidades e experiências prévias, para propor ações que possibilitem novas interações e experiências significativas. Portanto, tanto professores quanto alunos devem estar engajados como parceiros, adotando uma postura de aprendizado.
- **Educação Emancipadora.** Freire e Papert (1996) criticam a educação voltada apenas para a transmissão de conhecimento, que ele chama de educação bancária. Em vez disso, ele propõe uma pedagogia progressista e libertadora, onde os alunos constroem seu próprio conhecimento por meio de experiências diretas, aprendendo a ler a palavra a partir do mundo. Freire defende que a escola precisa ser completamente modificada e atualizada, mantendo-se como um espaço de aprendizado do conhecimento já existente para que novos conhecimentos possam ser produzidos.
- **Zona de Desenvolvimento Proximal.** Vygotsky (1998) propôs a teoria histórico-social, onde o conhecimento é construído a partir dos contextos sociais da aprendizagem. A cultura é crucial nesse processo, pois determina as habilidades e saberes necessários para a participação social. A teoria diferencia o nível de desenvolvimento atual, relacionado ao conhecimento já adquirido, e o nível potencial, referente às possibilidades de conhecimento a serem desenvolvidas. A distância entre esses níveis é chamada de Zona de Desenvolvimento Proximal.

Além disso, é importante ressaltar que a escolha desses conceitos pedagógicos fundamenta-se na necessidade de ancorar o desenvolvimento tecnológico em teorias de aprendizagem ativa. Assim, ao unir o método por descoberta, a educação emancipadora e a zona de desenvolvimento proximal, justifica-se a criação de um ambiente que vai além da transmissão de conteúdo, uma vez que essas teorias dão suporte à arquitetura descrita nas seções seguintes, evidenciando como a mediação por meio de objetos tangíveis possibilita que os alunos construam conhecimentos e reflexões através da interação contínua entre seus conhecimentos prévios e o estímulo do ambiente físico-digital.

2.2 Ensino de Matemática usando manipulativos

Os objetos tangíveis, ou manipulativos, são amplamente usados no ensino de matemática e em outras áreas STEM para facilitar a compreensão de conceitos abstratos (Ha & Fang, 2018; Lima et al., 2016; Salehi et al., 2014; Zuckerman et al., 2005). Alinhados com teorias pedagógicas baseadas na experiência e na construção ativa do conhecimento (Almeida, 2000; Dewey, 1971; Papert, 1994; Papert et al., 1980), esses objetos trazem inúmeros benefícios ao ensino e aprendizagem da matemática. Primeiro, eles ajudam na visualização de conceitos abstratos, como usar blocos de construção para ensinar volume e área (Ha & Fang, 2018). Segundo, promovem a aprendizagem ativa, incentivando uma abordagem participativa onde os alunos descobrem conceitos por si mesmos (Lima et al., 2016). Terceiro, melhoram engajamento sensorial, interação física, manipulação, habilidades espaciais e conceitos geométricos (Ha & Fang, 2018; Lima et al., 2016). Quarto, au-

mentam o engajamento e a motivação, tornando a aprendizagem mais divertida. Em perspectivas construtivistas, a interação direta com o ambiente é compreendida como elemento importante para a construção do conhecimento, de modo que os manipulativos tangíveis permitem que os alunos explorem e construam seu entendimento dos conceitos matemáticos, conectando novos conceitos a experiências concretas já existentes, facilitando a aprendizagem significativa.

2.3 Interfaces Tangíveis

Interfaces Tangíveis de Usuário (*Tangible User Interfaces* - TUIs), conforme introduzido por Ishii e Ullmer (1997), são um tipo de Interface Humano-Computador que permite a interação com sistemas computacionais através de objetos e ambientes físicos do cotidiano, substituindo periféricos tradicionais como mouse e teclado. Essas interfaces dão forma física à informação digital, combinando representações físicas e digitais para criar sistemas interativos mediados por computação. Segundo Zuckerman et al. (2005), objetos tangíveis são úteis para ensinar conceitos abstratos, oferecendo vantagens como engajamento sensorial, acessibilidade e aprendizagem em grupo. As TUIs podem melhorar o aprendizado ao conectar percepção e cognição, aumentando o engajamento e a reflexão dos estudantes, e sendo adequadas para a aprendizagem colaborativa. Diversas aplicações de TUIs no ensino-aprendizagem têm sido desenvolvidas recentemente, incluindo mesas tangíveis, blocos de programação, realidade virtual e aumentada, e ferramentas para disciplinas STEM e estudantes com dificuldades de comunicação. Neste artigo, TUIs são definidos como objetos de aprendizagem que combinam representações físicas e digitais, seguindo as características descritas por Ullmer e Ishii (2000), e funcionam como objetos inteligentes, integrando entidades físicas e digitais, além de dispositivos, recursos e serviços.

3 Trabalhos Relacionados

Considerando que a proposta deste trabalho abrange as fases de planejamento, execução e avaliação do ensino-aprendizagem, incluindo a criação e utilização de objetos de aprendizagem tangíveis, os trabalhos correlatos foram divididos em três eixos: (i) sistemas ciber-físicos na educação, (ii) ferramentas de autoria de objetos de aprendizagem, e (iii) métricas para avaliação da aprendizagem.

No primeiro eixo, a maioria dos trabalhos propõe objetos físicos ou virtuais juntamente com um ambiente de utilização especializado (Ha & Fang, 2018; Salehi et al., 2014; Zacharia & Olympiou, 2011), mas poucos fazem avaliação da aprendizagem e, nenhum propõe avaliação da aprendizagem que leve em consideração dados de interação dos alunos com objetos. Além disso, os trabalhos de Gluz et al. (2018), Imamura e Baranauskas (2018) e Lima et al. (2016), que abordam diretamente o contexto de objetos tangíveis e de ambientes físico-digitais, não apresentam abordagens formais para descrição e padronização de objetos tangíveis de modo que possam ser integrados a um ambiente de aprendizagem que possibilite o registro e a análise de dados de interação e, assim, a avaliação do aprendizado, de modo a propor ações pedagógicas voltadas à melhoria dessa experiência.

A Tabela 1 resume o enfoque dos trabalhos do primeiro eixo, de modo que é possível notar que, dos trabalhos que abordam diretamente manipulativos físicos (MF), virtuais (MV) ou tangí-

Tabela 1: Comparação - Trabalhos que abordam sistemas ciber-físicos na educação.

Autor(es)	MF	MV	MT	AE	Coleta dados	AA	Integração com AVA	Modelo Genérico
Zacharia e Olympiou (2011)	X	X	-	X	-	-	-	-
Salehi et al. (2014)	X	X	-	X	-	-	-	-
Ha Fang (2018)	-	-	X	X	-	-	-	-
Azad e Hashemian (2016)	-	-	X	-	-	-	-	-
Blikstein et al. (2012) e (2016)	X	X	X	-	X	-	-	-

veis (MT), somente três fazem avaliação experimental (AE) e somente dois coletam dados (Blikstein et al., 2012, 2016). Nenhum dos trabalhos faz avaliação da aprendizagem (AA) com dados coletados pelo objeto, possui integração com ambiente de aprendizagem ou apresenta um modelo conceitual para criação de novos objetos de aprendizagem.

Tabela 2: Resumo - Sistemas Físico-Virtuais no Brasil.

Autor(es)	MF	MV	MT	AE	Coleta dados	AA	Integração com AVA	Modelo Genérico
Santos et al. (2014)							X	X
Imamura e Baranauskas (2018)			X	X				
Lima et al. (2016)			X	X				X
Gluz et al. (2018)			X				X	

Adicionalmente, a Tabela 2 apresenta uma comparação de trabalhos envolvendo sistemas com interfaces ou objetos tangíveis com enfoque em pesquisas brasileiras. Onde, apenas dois trabalhos fazem uma Avaliação Experimental (AE) (Imamura & Baranauskas, 2018; Lima et al., 2016) e dois trabalhos têm algum tipo de integração com um ambiente de aprendizagem (Gluz et al., 2018; Santos, 2014). Além disso, Santos (2014) apresenta um modelo e uma instância de um ambiente ‘físico-virtual’ que provê objetos tradicionais e, outros dois trabalhos (Lima et al., 2016; Santos, 2014) apresentam modelos genéricos relacionados a objetos físico-virtuais (tangíveis). É importante notar que nenhum dos trabalhos apresenta coleta de dados e nem avaliação da aprendizagem, inclusive através de dados provenientes destas coletas.

Com relação ao segundo eixo, os trabalhos encontrados focam somente na autoria de objetos tradicionais (Guterres & Moraes, 2014; Passos et al., 2010) e não levam em consideração a criação de objetos tangíveis.

Por fim, no terceiro eixo, dos trabalhos e ferramentas que abordam a avaliação em ambientes virtuais de aprendizagem (Biswas & Ghosh, 2007; Lucena et al., 2015; Nunes et al., 2016; Sales et al., 2019; Sales et al., 2012), apenas Biswas e Ghosh (2007) e Sales et al. (2012) apresentam novas métricas ou modelos para verificação do desempenho dos estudantes nesses ambientes. Além disso, nenhum dos trabalhos considera o uso de objetos tangíveis na avaliação de ambientes virtuais de aprendizagem.

4 Abordagem Proposta

A abordagem proposta neste trabalho consiste em uma arquitetura para criação e uso de objetos tangíveis de aprendizagem composta por quatro módulos (Figura 1): (1) *Compositor*, (2) *Servidor*, (3) *Player Tangível* e (4) *Analíticos*.

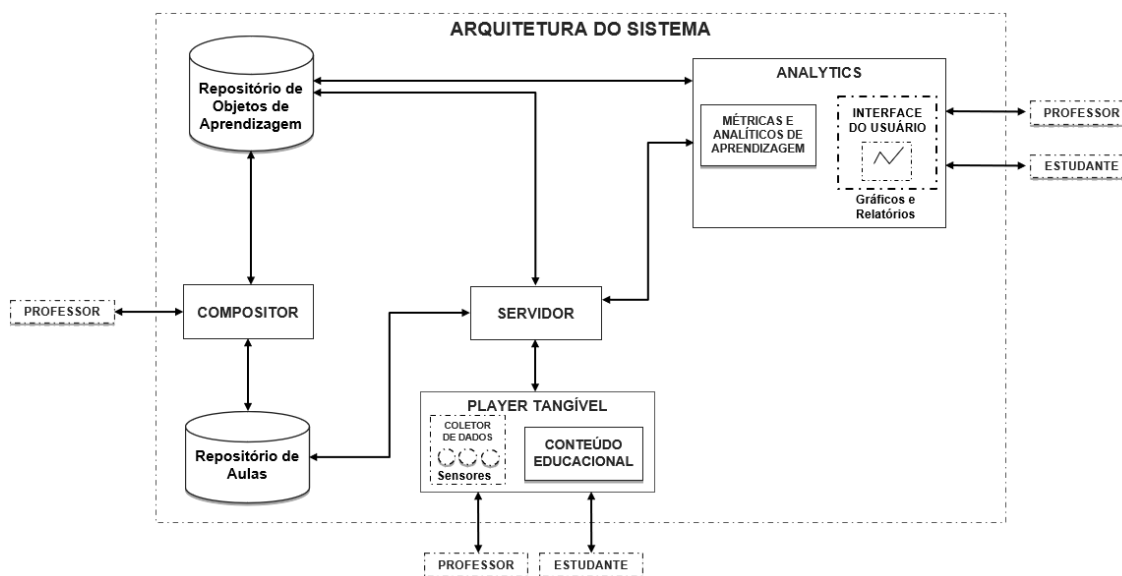


Figura 1: Arquitetura da Plataforma proposta.

O modelo descrito na Figura 1 apresenta os módulos da plataforma, de modo que é possível verificar que o professor interage com o sistema em todas as partes do processo, isto é, desde a composição e execução da aula até a visualização dos gráficos ou analíticos de aprendizagem gerados. Além disso, as interações dos estudantes com o conteúdo educacional acontecem durante a aula e são sempre mediadas pelo *Player*.

Para aprofundar o funcionamento dessa arquitetura, esta seção está dividida em 4 partes. A primeira descreve o **Compositor**, os tipos de objetos de aprendizagem que são aceitos para a elaboração de uma aula e a proposta de inclusão de recursos tangíveis. A segunda subseção apresenta o **Servidor**, que é responsável por agregar e armazenar os dados da interação dos estudantes com os dispositivos. Após isso, é apresentada a arquitetura do **Player Tangível**, responsável pela execução da aula e pela coleta dos dados, permitindo a interação fluida entre as partes física e digital. Por fim, a quarta subseção aborda os **Analíticos** de aprendizagem, módulo focado na análise dos dados e na construção de gráficos para apoiar o professor em tomadas de decisão metodológicas que melhor auxiliem os estudantes.

4.1 Compositor

O Compositor é uma ferramenta web desenvolvida usando o nodejs, o *Framework* Angular associado a um banco de dados SQL e uma versão modificada da Ferramenta Blockly que atua como ferramenta de autoria e como repositório de aulas e objetos de aprendizagem, sendo possível criar objetos dos tipos questionário e tangível ou agregar objetos criados em formatos de

imagens, vídeos e *slides*. Assim, a Figura 2(a) apresenta a arquitetura do Compositor, dividida em dois repositórios: (i) ‘Aulas’ e (ii) ‘Objetos de Aprendizagem’, com destaque em amarelo para a integração de objetos tangíveis com a plataforma.

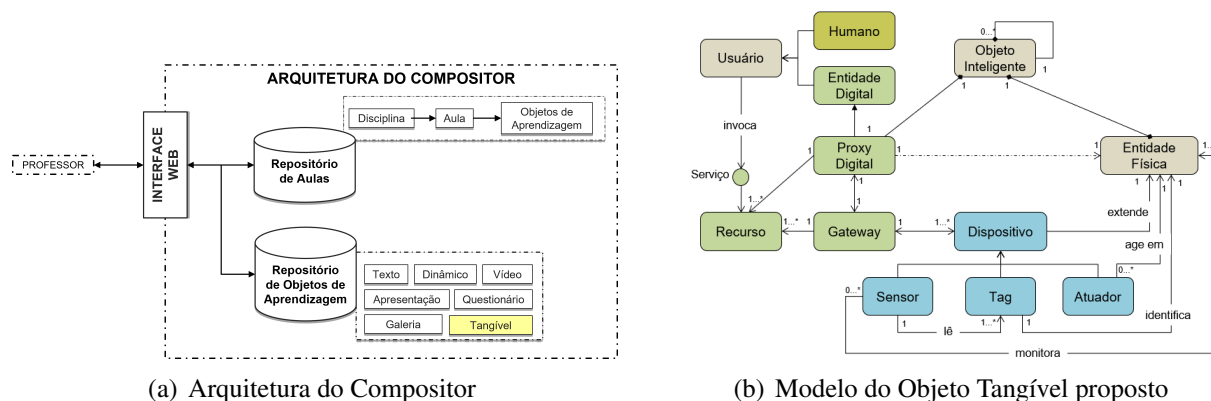


Figura 2: Arquiteturas do Compositor e do Objeto Tangível.

É importante salientar que foram efetuadas atualizações na versão apresentada por (Leitão, 2017) de modo a prover mais recursos e melhor experiência do usuário, além da implementação de um componente responsável pela inclusão dos objetos tangíveis de aprendizagem de acordo com o modelo de processos apresentado nas Figuras 3 e 4. Além disso, o banco de dados foi modelado para descrever os objetos de aprendizagem usando o perfil “PM-OBAA-FULL” do padrão brasileiro OBAA, derivado do IEEE-LOM, que oferece suporte a diferentes plataformas (TV Digital, Web e Móveis), possui descritores educacionais com uma base epistemológica interacionista e descritores de acessibilidade (Vicari et al., 2009).

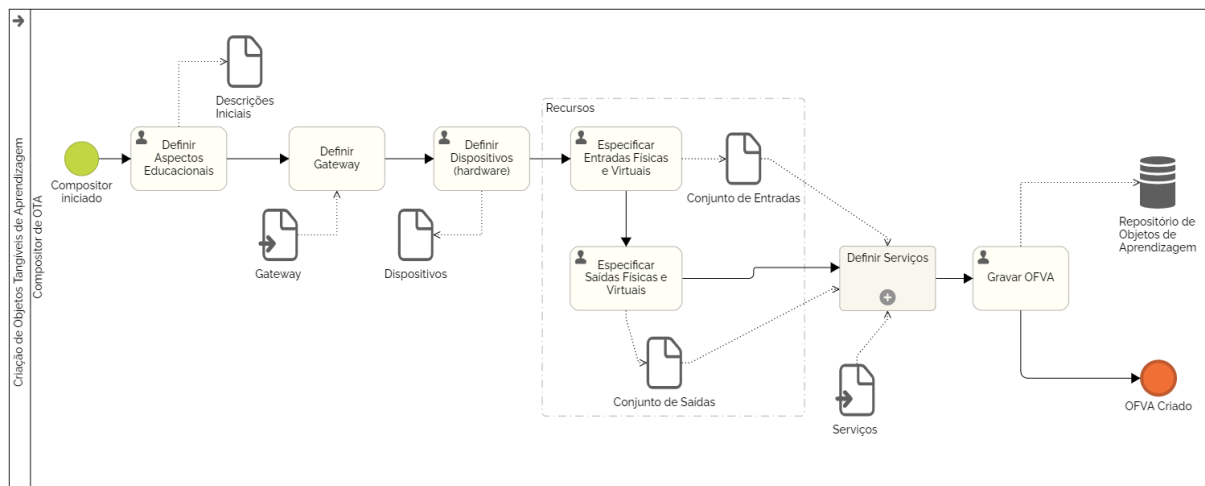


Figura 3: Modelo BPMN para Criação de Objetos Tangíveis de Aprendizagem.

Além disso, observa-se que a inclusão do **Objeto Tangível de Aprendizagem - OTA** ao Compositor demandou a definição de um modelo formal apresentado na Figura 2(b), que foi baseado no conceito de objeto inteligente proposto por (Serbanati et al., 2011). Tal conceito contém entidades digital e física associadas através de um *proxy* digital, de modo que, neste trabalho, o

proxy atua como uma representação da entidade física no mundo digital e contém quatro componentes: (i) dispositivos (componentes de *hardware* que funcionam como atuadores, TAGs e sensores), (ii) *gateway* (garante acesso aos dispositivos, sendo executado em um microcontrolador com capacidade de transmissão e recepção de mensagens), (iii) recursos (componentes digitais que referenciam as propriedades físicas e virtuais do objeto) e (iv) serviços (entradas e saídas físicas e virtuais esperadas). Além disso, cada objeto tangível criado no Compositor precisa ter componentes de ambas as partes devidamente instanciados e suas relações descritas.

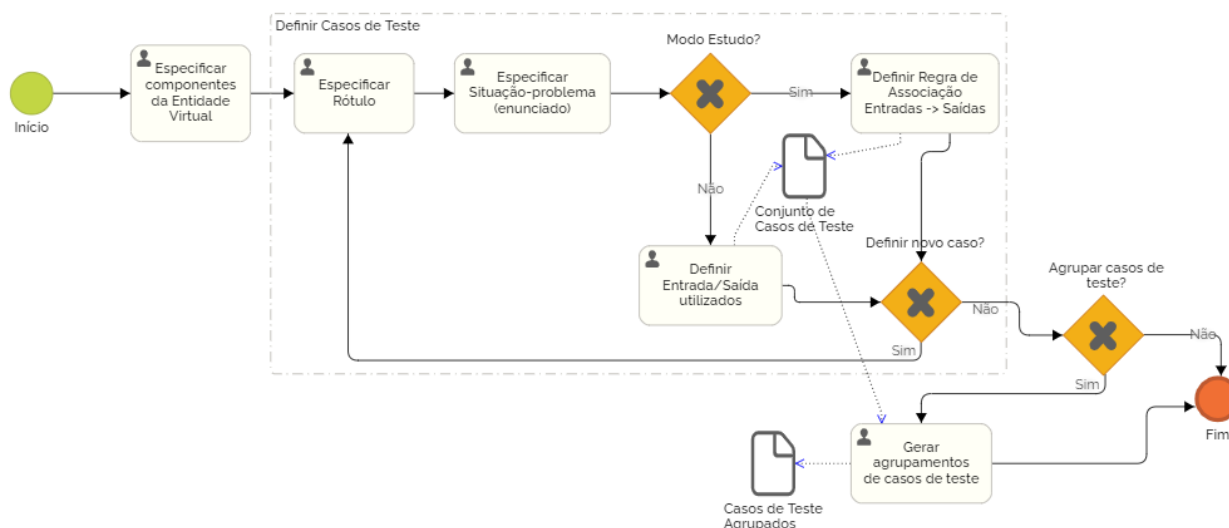


Figura 4: Subprocesso BPMN para ‘Definir Serviços’.

De modo geral, a Figura 3 apresenta o diagrama de processos BPMN (*Business Process Model and Notation*) que orienta a composição de um OTA, incluindo as definições dos aspectos educacionais (de acordo com o padrão OBAA escolhido) e dos componentes do objeto tangível (de acordo com o modelo proposto). Note-se que, enquanto a definição do ‘Gateway’ ocorre na implementação do código-fonte a ser utilizado no microcontrolador e a definição dos ‘Dispositivos’ é realizada no projeto do circuito elétrico que instrumenta o objeto concreto, os ‘Serviços’ são definidos através de um processo que associa os aspectos físicos aos aspectos digitais do objeto de aprendizagem, de modo que o manipulativo físico (com seus sensores ou atuadores) tenha correspondentes digitais através de páginas web que implementam um manipulativo virtual idêntico e interconectado ao físico e que funciona baseado em casos de teste.

É necessário salientar que, no contexto deste trabalho, um caso de teste corresponde a uma situação-problema instrumentada com parâmetros (regras) permitindo ao Player auxiliar o estudante no caminho de construção do conhecimento, proporcionando espaço para reflexão e correção das suas respostas até que descubra a resposta correta ao utilizar o objeto tangível no modo estudo. Em certa medida, essa característica incentiva um processo baseado na experiência e no conhecimento como construção progressiva, nos moldes das teorias sociopedagógicas apresentadas na Seção 2. Além disso, para que o objeto tangível seja utilizado para o acompanhamento/avaliação da aprendizagem, os casos de teste precisam estar associados aos parâmetros das diversas métricas propostas neste trabalho (Seção 4.4).

Figura 5: Compositor de OTA - Casos de Teste.

Assim, a Figura 4 detalha o modelo de processo para a definição do componente Serviços, que suporta o uso de situações-problema (casos de teste) associadas às regras de avaliação da aprendizagem que permitem fornecer um *feedback*. Adicionalmente, a Figura 5 ilustra a tela da ferramenta implementada que permite a inserção dos casos de teste utilizados na instanciação do objeto tangível proposto neste artigo. Note-se que é possível editar o Rótulo, o Enunciado, o modo de utilização do estudante (Estudo ou Avaliação) e, por fim, o agrupamento ao qual o caso de teste pode estar vinculado.

Figura 6: Compositor de OTA - Blockly.

Além disso, foi implementada uma ferramenta de programação em blocos baseada na biblioteca Blockly (Docs, 2026) que possibilita a definição das variáveis de entrada e saída e das regras de validação dos casos de teste, de modo que a Figura 6 apresenta a tela inicial desta ferramenta, onde nota-se a existência de blocos específicos do Compositor de Objetos Tangíveis. Dentre as

modificações implementadas estão a possibilidade de declarar e editar as entradas e saídas tangíveis (físicas e virtuais), a abertura e o salvamento dos blocos utilizados em um arquivo xml de modo a permitir edições posteriores, o salvamento do código gerado automaticamente em javascript de modo que possa ser exportado e armazenado em um banco de dados SQL, conforme pode ser observado na Figura 7.

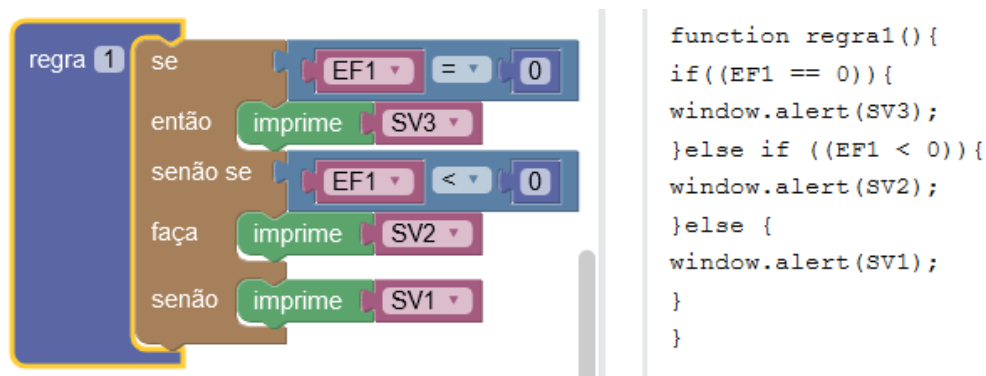


Figura 7: Definição de Regra de Caso de Teste de um Objeto Tangível.

4.2 Servidor

Este módulo gerencia as trocas de mensagens entre os dispositivos dos estudantes e do professor através de uma sala virtual, além de tratar e consolidar os dados de interação provenientes das interfaces física e digital para análise pelas métricas de aprendizagem. É importante ressaltar que, como provedor do ambiente de aprendizagem, o servidor tem tripla finalidade: (i) gerenciar as conexões dos alunos, coletando dados e armazenando os *logs* de interação com o material didático; (ii) prover acesso às recomendações pedagógicas; e (iii) prover acesso aos recursos dos objetos de aprendizagem.

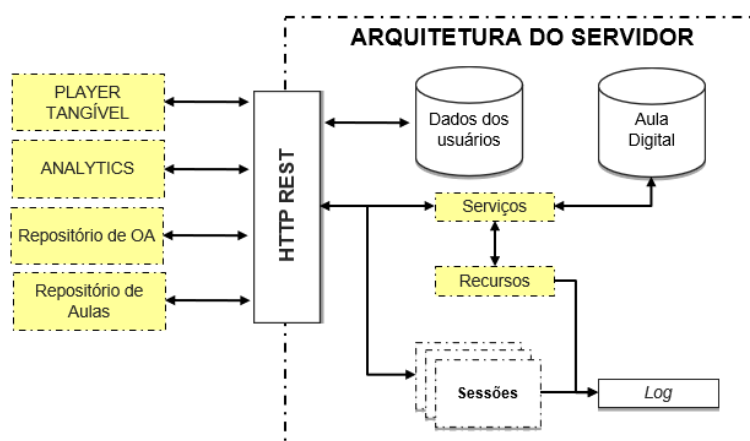


Figura 8: Arquitetura do Servidor.

Assim, na Figura 8, os acréscimos para o suporte de objetos tangíveis estão em destaque, onde observa-se a presença do componente “Recursos”, responsável por referenciar as entradas

e saídas físicas e digitais do objeto com o objetivo de armazenar essas interações no *log* e do componente “Serviços”, que oferta os serviços disponibilizados pelo Player Tangível e que estão armazenados no banco de dados, de modo que tais serviços correspondem ao conteúdo dos objetos (i.e.: páginas web, códigos em Javascript que proveem o *feedback* contínuo para que o aluno alcance as respostas corretas).

Outrossim, cabe ressaltar que, em uma primeira fase, os componentes do servidor foram implementados usando o *Framework* Angular e *NodeJS* de modo a proverem objetos de aprendizagem convencionais. Além disso, a posteriori, para integração do objeto tangível à plataforma foram desenvolvidas: (i) API utilizando a linguagem *Python* e o *Framework Django* e que concentra todas as regras de negócio (casos de teste, regras de validação, acesso e administração), (ii) *frontend*, desenvolvida em *Typescript*, através do *Framework* Angular de modo que fossem providas tanto a interação do estudante com a entidade digital, quanto a conexão via *websocket* com a entidade física.

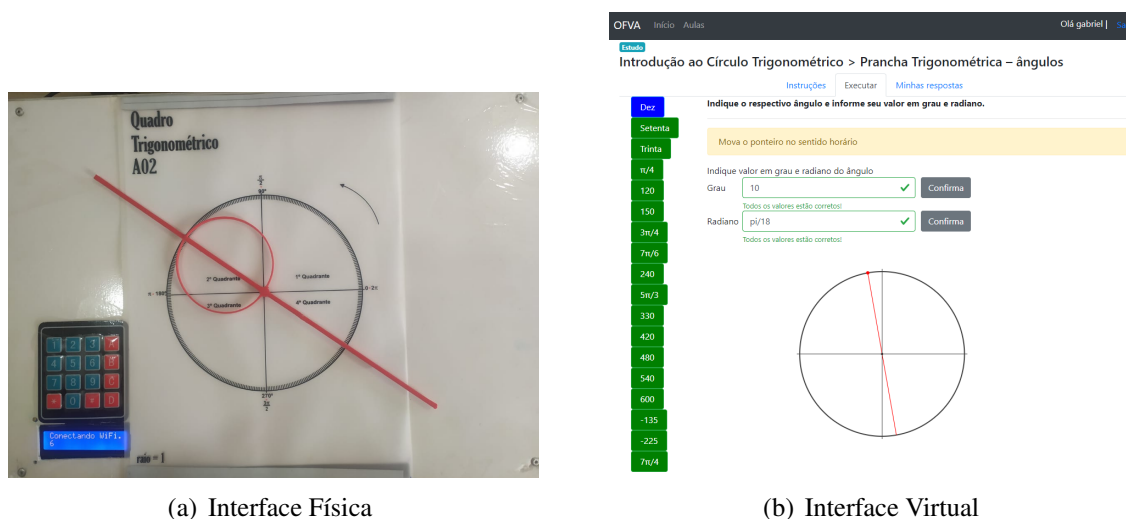
Os dados coletados por ambos os serviços são armazenados em um banco de dados *MongoDB NoSQL*), onde os *logs* das interações dos estudantes com o Player Tangível podem ser utilizados para o cálculo das diversas métricas de aprendizagem propostas neste trabalho. A Figura 9 apresenta uma instância do log de um objeto tangível.

```
_id: ObjectId("61a5bf940fc30ee88e95facd")
semestre: "202102"
bimestre: "202104"
turma: 1
id_sessao: 1
tipo_sessao: 1
id_simulado: 1
versao_simulado: "1"
id_estudante: 1
time: 1638252391532
event: "input"
page: "/aula/atividade/1/player"
id_questao: "2"
nivel: "2"
id_questionario: 1
materia: "Matemática"
subtopico: "Trigonometria"
alternativa: "100"
id_elemento: "ef1"
fonte: "physical"
```

Figura 9: Exemplo de Log de um OTA.

4.3 Player Tangível

Expandindo o conceito apresentado por Leitão (2017), onde o Player é um conjunto de páginas web contendo o material didático de uma aula e acessadas por um navegador *web* e inclui um coletor de dados, o Player Tangível conta com um terceiro elemento que corresponde à interface física (Figura 10(a)), cuja interação do aluno reflete na sua respectiva interface digital (Figura 10(b)).



(a) Interface Física

(b) Interface Virtual

Figura 10: Interfaces do Player Tangível.

Assim, tomando como base o perfil de aplicação OBAA escolhido e os modelos propostos para a criação de objetos tangíveis, com o objetivo de validar o método e a arquitetura apresentados neste trabalho, foram implementados cinco OTAs. Além disso, tais objetos são baseados nas atividades pedagógicas da sequência didática proposta por Silva (2011), de modo que cada objeto representa uma parte da construção do “Quadro Trigonométrico” final como uma aplicação das teorias sociopedagógicas construtivistas apresentadas na Seção 2.

Ressaltando-se que um Quadro Trigonométrico pode ser definido como uma ferramenta visual que apresenta as relações entre os ângulos e os valores das funções trigonométricas (seno, cosseno, tangente, cotangente, secante e cossecante), esses quadros geralmente incluem valores para ângulos comuns, como 0° , 30° , 45° , 60° e 90° , e suas respectivas funções trigonométricas.

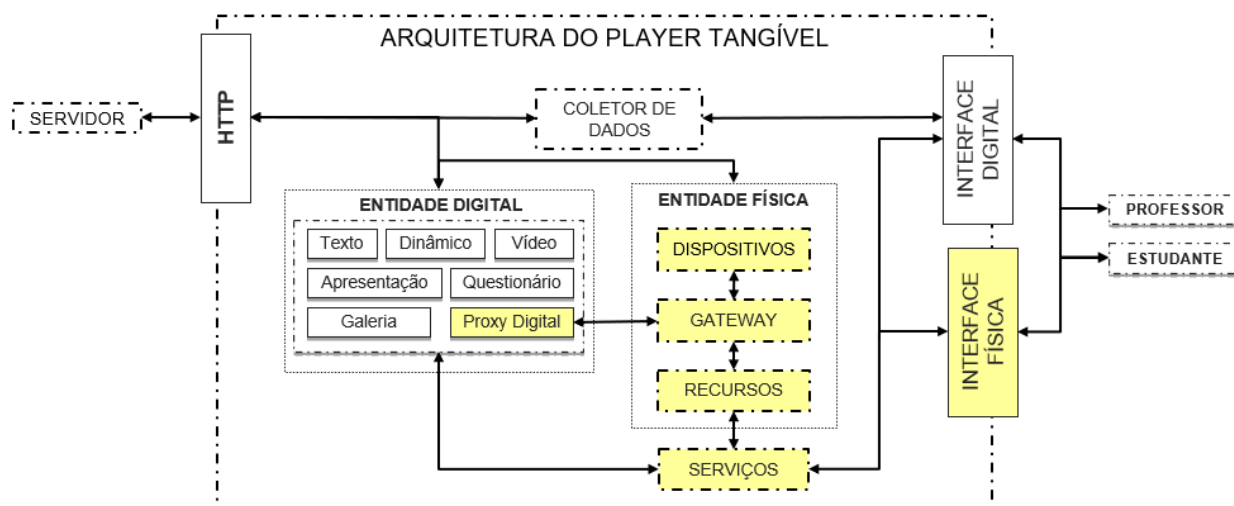


Figura 11: Arquitetura do Player Tangível.

Assim, a Figura 11 destaca a ‘entidade física’ integrada à sua respectiva contraparte digital através do *Gateway*, de modo que o *proxy digital* corresponde ao que o estudante enxerga na interface digital do objeto tangível. Ademais, na entidade física, nota-se os componentes ‘Dispositivos’, ‘Gateway’ e ‘Recursos’ do modelo proposto na Figura 2(b). Além disso, o componente ‘Serviços’ serve de ponte para as interfaces física e digital, de modo que as entradas correspondentes e o conteúdo educacional sejam acessados.

É importante ressaltar que a interface digital permite a entrega do conteúdo educacional digital em praticamente qualquer dispositivo e plataforma sem necessidade de instalação de softwares adicionais, uma vez que é baseada em programação web, o que confere um baixo custo de implantação, visto que cada aluno pode, por exemplo, usar seu próprio dispositivo móvel e conectá-lo à interface física através de pareamento. Essa abordagem visa não apenas inserir definitivamente as novas tecnologias em sala de aula, mas, tirar proveito dos recursos que os estudantes trazem consigo, além de tentar aumentar o nível de engajamento do estudante em uma aula.

Tabela 3: Aspectos Educacionais: Quadro Trigonométrico - Quadrantes.

Atributo	Descrição
ID	001
Título	Quadro Trigonométrico: Quadrantes
Descrição Geral	Este objeto de aprendizagem trabalha com conceitos relacionados a Trigonometria, em especial, os valores dos quadrantes do círculo trigonométrico.
Descrição Educacional	Na Interface Virtual, o estudante deve escolher o item a ser estudado (início ou fim de um quadrante) e, então, deve manipular o ponteiro da Interface Física de modo a indicar a posição (ângulo) em que o quadrante começa ou termina (de acordo com o item escolhido). Para cada movimentação do ponteiro físico, o ponteiro virtual é movimentado e, após a confirmação da posição pelo estudante, é habilitada uma caixa de texto, onde deverão ser inseridos os valores do ângulo em graus e em radianos. Caso o aluno posicione o ponteiro físico em um local que não é um limite de quadrante, ou insira um valor incorreto, a Interface Virtual deverá retornar uma informação que o ajude a corrigir os valores ou posições. Este objeto deve usar a Face A01.
Tópicos	Trigonometria, ângulos, círculo trigonométrico, quadrantes, graus, radianos.
Modo	Estudo
Gateway	.hex e .ino em Arduíno
Dispositivos	32 Sensores de efeito Hall; 1 teclado membrana; 1 Display LCD 16 x 2;

Outrossim, é importante salientar que, neste artigo, será apresentada apenas uma das instâncias de OTA implementadas, a fim de facilitar a compreensão do método proposto e do processo de construção de um OTA qualquer, de modo que os demais OTAs e o trabalho completo estão disponíveis em Leitão (2023). Dessa forma, a Tabela 3 apresenta uma instanciação de um objeto tangível denominado “Quadro Trigonométrico - Quadrantes” no que diz respeito aos aspectos educacionais (nome, descrição geral, descrição educacional, tópicos, modo), dispositivos e gateway.

De acordo com esta descrição, pode-se notar que tal objeto tangível tem o objetivo de colaborar com a aprendizagem de estudantes do Ensino Médio, no que diz respeito aos tópicos Trigonometria, Ângulos, Graus e Radianos, no processo de identificação dos quadrantes do círculo trigonométrico.

A Tabela 4 apresenta a instanciamento das entradas e saídas físicas e digitais de um objeto tangível, onde na coluna ‘Blocos’, pode-se observar os blocos criados usando a ferramenta Blockly modificada, enquanto na coluna ‘JavaScript’ tem-se a visão do código gerado automaticamente pela mesma ferramenta, de modo que esta tradução possa ser utilizada pelos outros componentes do objeto.

A definição do caso de teste consiste em estabelecer uma situação-problema a ser resolvida pelo estudante e, de acordo com a necessidade, as regras de *feedback*. Assim, o autor do objeto tangível pode definir tanto o texto do enunciado do caso de teste quanto o seu rótulo (Tabela 5). Além disso, quando o objeto tangível prevê o modo “estudo” será necessário também indicar o *feedback* a ser dado para uma determinada entrada, visto que o OTA deverá ajudar o estudante com informações que o levem a melhorar/corrigir suas respostas, de modo que o conhecimento seja construído pelo estudante durante o processo de interação com o material didático.

Essa abordagem foi escolhida para que diversas estratégias pedagógicas pudessem ser utilizadas, uma vez que o modo “estudo” permite que o estudante “construa” conhecimento através da descoberta dos elementos que compõem o objeto tangível.

A Tabela 6 apresenta um exemplo de definição das regras para o caso de teste apresentado na Tabela 5, onde a atividade em questão prevê que o estudante deve encontrar os valores dos ângulos de início do primeiro quadrante, respectivamente, 0° e 0 rad.

4.3.1 Conexão entre as entidades física e digital

De modo a tornar a comunicação em tempo real mais eficiente, o *Gateway*, apresentado na Figura 2(b), elemento de integração entre as entidades física e digital, foi implementado como um servidor baseado no protocolo *Websocket*. Além disso, para o processo de troca de mensagens com o Gateway, foi escolhido o formato *JSON*, de modo que a Tabela 7 apresenta uma descrição inicial dos principais campos utilizados no formato definido.

A Listagem 1 apresenta um exemplo do JSON utilizado nas mensagens trocadas, onde alguns dos campos possuem subcampos que especificam mais informações.

Além disso, foram definidos formatos relacionados ao pareamento das interfaces, status da conexão, validação de token, envio/recebimento de dados das entidades física e virtual e mensagens de reconexão/desconexão. Adicionalmente, foram gerados diagramas de sequência para o estabelecimento da conexão websocket, para o pareamento, para o envio dos dados e para a reconexão, conforme exemplos apresentados nas Figuras 12 e 13.

4.4 Analíticos

O módulo *Analíticos* utiliza os dados de interação dos estudantes com o ambiente de aprendizagem para calcular métricas tanto para avaliar e acompanhar a aprendizagem quanto para gerar análises de dificuldades e necessidades dos estudantes. Desse modo, este trabalho propõe a adoção de oito

Tabela 4: Recursos: Quadro Trigonométrico - Quadrantes.

RECURSOS					
ENTRADAS FÍSICAS					
ID	FONTE	RÓTULO	TIPO DE DADO	BLOCOS	JavaScript
1	Físico	EF1	inteiro	entrada física 1	var EF1;
ENTRADAS DIGITAIS					
ID	FONTE	RÓTULO	TIPO DE DADO	BLOCOS	JavaScript
2	Virtual	EV1	inteiro	entrada virtual 1	var EV1;
3	Virtual	EV2	ponto flutuante	entrada virtual 2	var EV2;
SAÍDAS DIGITAIS					
ID	FONTE	RÓTULO	TIPO DE DADO	CONTEÚDO	
1	Virtual	SV1	String	Mova o ponteiro no sentido horário	
2	Virtual	SV2	String	Mova o ponteiro no sentido anti-horário	
3	Virtual	SV3	String	Posição está correta!	
4	Virtual	SV4	String	Ao menos um dos valores informados deveria ser menor	
5	Virtual	SV5	String	Ao menos um dos valores informados deveria ser maior	
6	Virtual	SV6	String	Todos os valores estão corretos!	
BLOCOS					
saída virtual 1 Mova o ponteiro no sentido horário! saída virtual 2 Mova o ponteiro no sentido anti-horário! saída virtual 3 Posição está correta! saída virtual 4 Ao menos um dos valores informados deveria ser m... saída virtual 5 Ao menos um dos valores informados deveria ser m... saída virtual 6 Todos os valores estão corretos!					
JavaScript gerado					
<pre>var SV1 = "Mova o ponteiro no sentido horário!"; var SV2 = "Mova o ponteiro no sentido anti-horário!"; var SV3 = "Posição está correta!"; var SV4 = "Ao menos um dos valores informados deveria ser menor"; var SV5 = "Ao menos um dos valores informados deveria ser maior"; var SV6 = "Todos os valores estão corretos!";</pre>					

métricas para medir a interação do estudante com o material didático e o seu desempenho em atividades educacionais. Algumas das métricas utilizadas foram baseadas no trabalho de Biswas e Ghosh (2007), enquanto outras seguem o método tradicional de cálculo, considerando apenas acertos e erros.

Tabela 5: Definição de um caso de teste.

Item	Descrição
Rótulo	Início
Enunciado	Indique o início do primeiro quadrante e informe seu valor em grau e radiano.

Tabela 6: Caso de Teste 1 - Regra 1.

REGRA 1	
Blocos	JavaScript gerado
	<pre>if((EF1 == 0)){ return SV3; } else if ((EF1 < 0)){ return SV2; } else { return SV1; }</pre>

```
{
  "type": "connection",
  "action": "connect",
  "data": {
    "connected": false,
  },
  "error": {
    "code": 1,
    "message": "Ja existe um usuario conectado"
  }
}
```

Listing 1: Exemplo de mensagem JSON

De forma resumida, as métricas consideradas neste artigo são: (i) Nota tradicional que é a pontuação baseada no total de questões assinaladas corretamente; (ii) Nota Ponderada que considera que as alternativas possuem um peso, onde 1 indica totalmente errada e 4 indica totalmente correta. Esta métrica indica o quão próximo ou distante a alternativa marcada está da resposta correta; (iii) Dúvida da questão, que corresponde a quantidade de vezes que o aluno alterou a marcação de uma resposta no questionário; se aluno marcou somente uma vez, então o grau de

Tabela 7: Campos para troca de mensagens entre as entidades do Player Tangível.

Campo	Tipo	Descrição	Observação
type	string	Tipo da mensagem	Obrigatório
action	string	Ação a ser realizada	Obrigatório
data	object	Informação específica de cada mensagem	Opcional
error	object	Detalhes do erro	Opcional

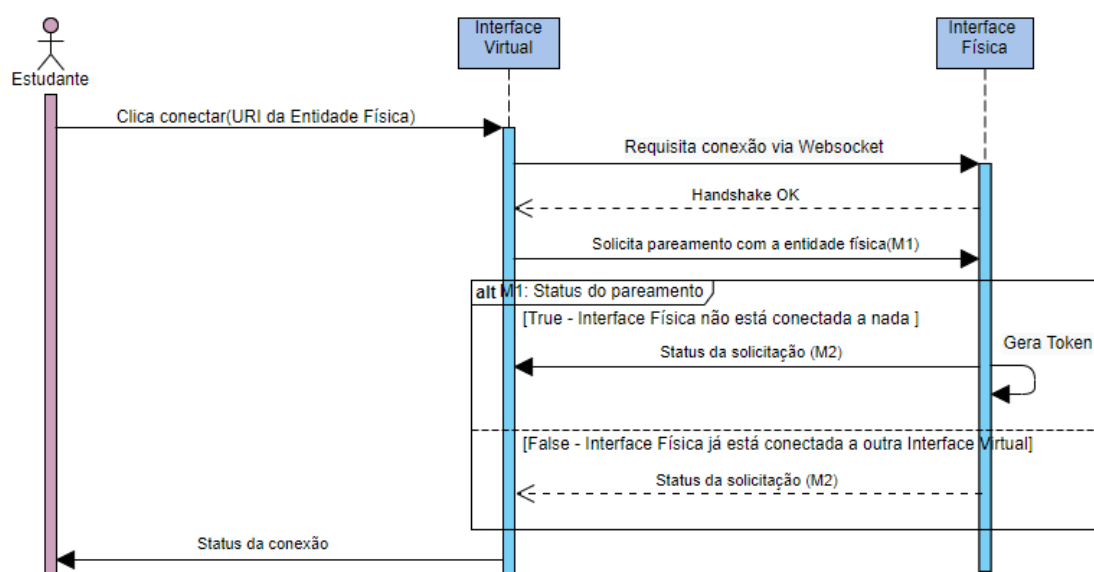


Figura 12: Diagrama de sequência – Conexão websocket.

dúvida é zero; (iv) Grau de Assertividade que é uma métrica que relaciona o total de respostas corretas pela quantidade de vezes que o aluno trocou de alternativas em um questionário; (v) Tempo de resposta, que apresenta o tempo acumulado para responder cada questão; (vi) Prioridade, que indica a prioridade de estudos de uma matéria baseando-se na Nota Tradicional e na Nota Ponderada; (vii) Nível de Compreensão da questão e (viii) Nível de Compreensão do questionário, que são métricas que quantificam a relação entre os índices de dificuldade, a assertividade e o peso relativo ao tempo de resposta.

Tabela 8: Métricas Independentes.

Métrica	Equação	Legenda
Nota Tradicional (NT)	$NT = 10 \cdot \frac{rc}{n}$	rc: respostas corretas n: total de questões
Nota Ponderada (NP)	$NP = 10 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{ppm}$	p_i : peso da questão ppm: pontuação máxima ponderada
Dúvida da Questão (DQ)	$DQ = \sum_{i=1}^{m-1} 1, m \geq 0$	m: total de marcações na resposta
Assertividade (A)	$A = \frac{rc}{\sum_{i=1}^n m_i}$	-
Tempo de Resposta (TR)	Tempo gasto em segundos para resolver uma questão	-

Estas métricas podem ser divididas em duas partes: (i) cinco métricas independentes (Tabela 8); e (ii) três métricas baseadas na composição de outras métricas (Tabela 9), de modo que mais detalhes podem ser conferidos nos trabalhos de Leitão (2023) e Leitão et al. (2020).

Além disso, embora as métricas utilizadas tenham sido originalmente propostas e validadas baseando-se em questionários de múltipla escolha (Leitão, 2017), para aplicação em Objetos Tangíveis de Aprendizagem, foi proposta uma extrapolação de modo a possibilitar uma avaliação da aprendizagem a partir desses objetos.

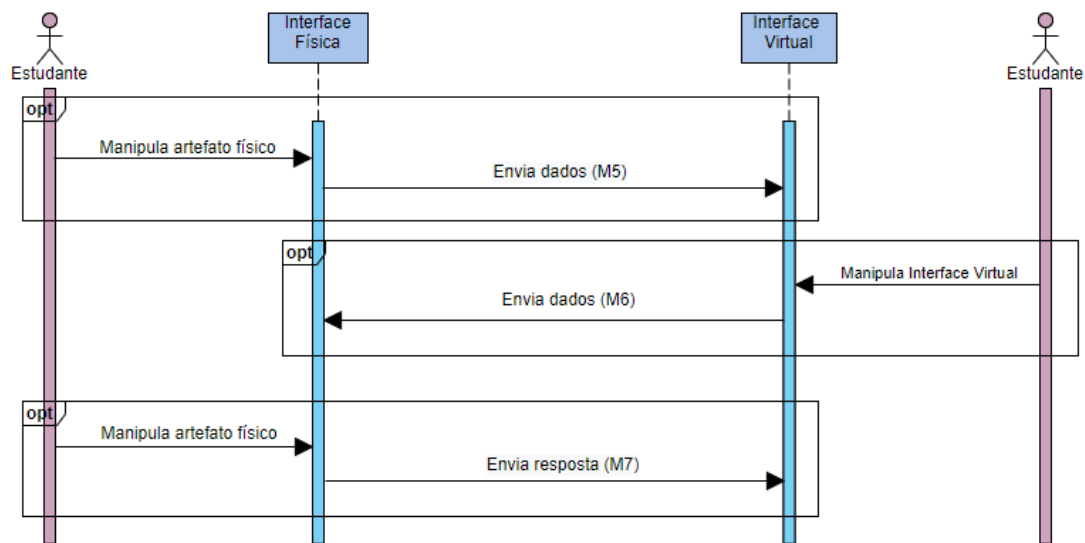


Figura 13: Diagrama de Sequência para envio de dados.

Tabela 9: Métricas Compostas.

Métrica	Equação	Legenda
Prioridade (P)	$P = (10 - NT) \cdot \frac{NP}{10}$	-
Nível de Compreensão da Questão (NCQ)	$NCQ = \begin{cases} \frac{NEC}{Max \cdot 4}, & TR \leq t/4 \\ \frac{NEC}{Max}, & t/4 < TR \leq t \\ \frac{NEC}{Max + (\frac{TR-t}{t})}, & TR > t \end{cases}$	NEC: Nível Efetivo de Compreensão Max: Nível Máximo de Compreensão
Nível de Compreensão do Questionário (NC)	$NC = \frac{\sum_{i=1}^n NCQ_i}{n + (1-A)}$	-

Assim, a Figura 14 apresenta o modelo de processos BPMN que ilustra o fluxo principal de definição das métricas utilizadas, de modo que cada métrica contém seu próprio subprocesso associado. Além disso, é importante salientar que a definição dos diversos parâmetros das métricas está associada aos casos de teste dos objetos tangíveis.

Ademais, como parte da formalização dos processos e geração das ferramentas, foi implementada uma interface baseada em *Blockly* que converte os parâmetros para a linguagem *Python* de modo que sejam executados pelo módulo. Assim, tomando por base a métrica Nota Ponderada, a Tabela 10 apresenta um exemplo de associação entre uma entrada física (EF1) e um caso de teste (“Caso de Teste 1”) com as respectivas respostas esperadas (RE) e os pesos de cada resposta. As instâncias restantes desta atividade podem ser encontradas no trabalho de Leitão (2023), bem como os parâmetros das métricas para os outros objetos tangíveis (exercícios) construídos.

Por fim, como exemplo, a Figura 15(a) ilustra três instâncias do banco de dados com o valor da média ponderada de um estudante a partir das entradas ‘EF1’, ‘EV1’ e ‘EV2’, respectivamente. Neste exemplo, a média ponderada foi calculada considerando que as entradas e os casos de teste são agrupados, para ilustrar a liberdade de escolha do professor no que diz respeito ao acompanhamento e à avaliação do estudante, conforme proposto no modelo de processos da Figura 14.

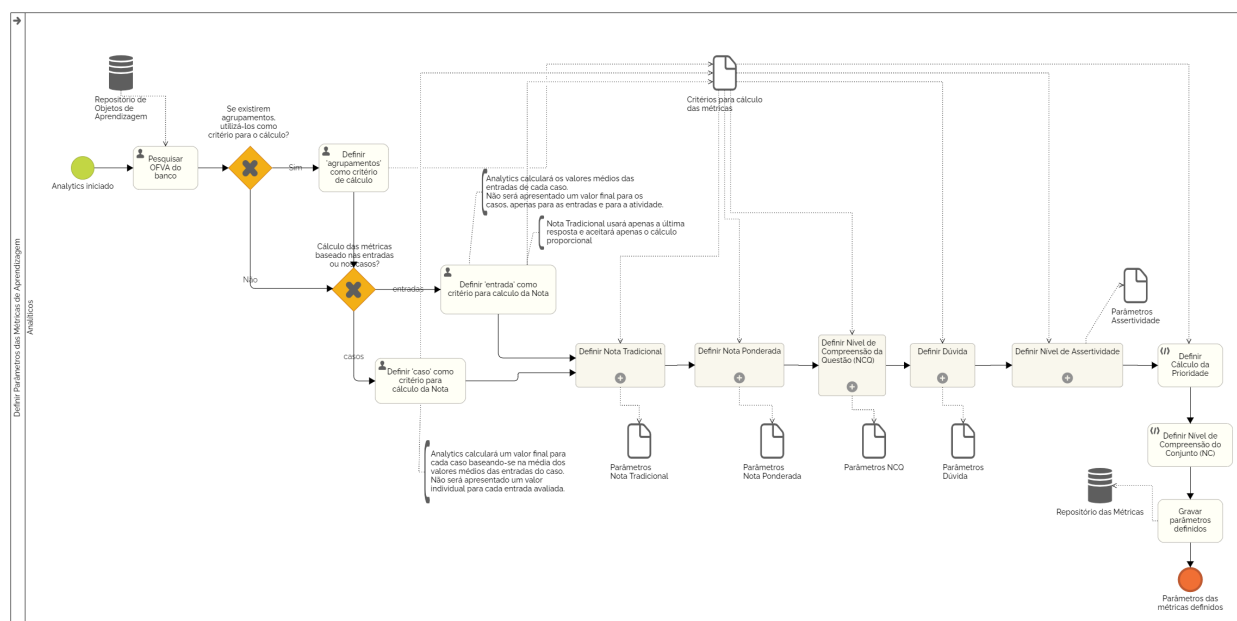


Figura 14: Diagrama BPMN para definição dos parâmetros das métricas de aprendizagem aplicadas a um OTA.

Tabela 10: Nota Ponderada – Caso de Teste 1 – EF1.

NP - CASO 1 - EF1	
Blocos	Python gerado
<pre> para EF1CASO1 com: EF1 definir RE para 0 se absoluto RE - EF1 = 0 faça definir PESO para 4 senão se absoluto RE - EF1 ≤ 10 faça definir PESO para 3 senão se absoluto RE - EF1 ≤ 20 faça definir PESO para 2 senão se absoluto RE - EF1 ≤ 30 faça definir PESO para 1 senão definir PESO para 0 retorna PESO </pre>	<pre> import math # Nota Ponderada - Caso 1 def EF1CASO1(EF1): global RE, PESO RE = 0 if math.fabs(RE - EF1) == 0: PESO = 4 elif math.fabs(RE - EF1) <= 10: PESO = 3 elif math.fabs(RE - EF1) <= 20: PESO = 2 elif math.fabs(RE - EF1) <= 30: PESO = 1 else: PESO = 0 return PESO </pre>

Por outro lado, a Figura 15(b) apresenta as notas obtidas a partir do cálculo baseado nos casos de teste, onde todas as entradas são agrupadas por caso de teste.

<pre> _id: ObjectId("62189c9213008a8aa554d501") método: "entradas" agrupamento: "False" id_estudante: 3 id_questionario: 1 fonte: 1 id_fonte: "EF1" nota: 7.322916666666667 </pre>	<pre> _id: ObjectId('62189cd013008a8aa554d5ab') método: "casos" agrupamento: "False" id_estudante: 3 id_questionario: 1 fonte: null id_fonte: "1" nota: 7.999999999999999 </pre>
<pre> _id: ObjectId("62189c9213008a8aa554d502") método: "entradas" agrupamento: "False" id_estudante: 3 id_questionario: 1 fonte: 2 id_fonte: "EV1" nota: 9.166666666666666 </pre>	<pre> _id: ObjectId('62189cd113008a8aa554d5ac') método: "casos" agrupamento: "False" id_estudante: 3 id_questionario: 1 fonte: null id_fonte: "2" nota: 4.861111111111111 </pre>
<pre> _id: ObjectId("62189c9213008a8aa554d503") método: "entradas" agrupamento: "False" id_estudante: 3 id_questionario: 1 fonte: 2 id_fonte: "EV2" nota: 9.375 </pre>	<pre> _id: ObjectId('62189cd113008a8aa554d5ad') método: "casos" agrupamento: "False" id_estudante: 3 id_questionario: 1 fonte: null id_fonte: "3" nota: 8.333333333333334 </pre>

(a) Por Entrada

(b) Por Caso de Teste

Figura 15: Exemplo de instâncias da média ponderada.

5 Estudo de Caso e Resultados

Primeiramente, ressalta-se que este artigo apresenta um recorte de uma pesquisa mais ampla sobre um método baseado em objetos tangíveis para verificação da aprendizagem. Como parte da prova de conceito, foi implementado um objeto tangível de aprendizagem baseado no círculo trigonométrico e integrado a uma plataforma educacional capaz de registrar interações e calcular métricas de acompanhamento da aprendizagem. Desse modo, neste artigo, o estudo foi organizado como um estudo de caso exploratório estruturado em duas fases: análise de desempenho a partir de métricas de aprendizagem e percepção dos estudantes sobre o uso do OTA.

Além disso, é importante ressaltar que a comparação com a abordagem tradicional foi utilizada como referência descritiva para interpretação dos resultados, sem pretensão de estabelecer generalização causal a partir da amostra investigada.

Este estudo exploratório contou com a participação de 21 estudantes do 1º ano do Curso Técnico Integrado em Programação de Jogos Digitais, divididos em dois grupos de forma aleatória: 12 sujeitos no Grupo Tradicional e 9 no Grupo OTA. É importante ressaltar que ambos os grupos não tiveram contato prévio com o conteúdo específico abordado no estudo uma vez que é um conteúdo ministrado somente em anos posteriores.

Além disso, o planejamento do estudo foi aprovado pelos comitês de ética das entidades participantes, de modo que o Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE) n. 51513221.9.0000.5020 foi aprovado sob o parecer n. 4.981.458 e o CAAE n. 51513221.9.3001.8119 foi aprovado sob o parecer n. 5.264.862.

5.1 Descrição do Estudo de Caso

O estudo de caso foi dividido em quatro etapas, com enfoque na introdução dos conceitos e na aplicação prática utilizando o objeto tangível de aprendizagem (OTA): **Etapla 1: Introdução à Trigonometria** - Na primeira fase, os alunos receberam uma aula de introdução teórica à trigonometria, abrangendo conceitos básicos como ângulos, radianos, seno, cosseno e tangente. A aula foi ministrada de forma expositiva, com a utilização de slides e exercícios práticos no quadro branco. Esta fase teve como objetivo garantir que todos os alunos possuísem um entendimento básico dos conceitos antes de utilizarem o objeto tangível. **Etapla 2: Pré-teste** - Exame avaliativo inicial aplicado a todos os estudantes para medir o conhecimento prévio dos conceitos trigonométricos.

Etapla 3: Estudo do Quadro Trigonométrico - Nesta etapa, cada grupo executou um procedimento distinto, de modo que o **Grupo Tradicional** (GN) recebeu uma aula com atividade de fixação tradicional, praticando exercícios de identificação e cálculo de valores de seno, cosseno e tangente de diferentes ângulos utilizando papel, caneta e um transferidor comum. Por outro lado, o **Grupo OTA** (GT) recebeu uma aula com um Objeto Tangível de Aprendizagem (OTA) e um formulário de experiência do usuário sobre o uso do OTA, de modo que utilizaram a Interface Virtual, Figura 10(b), para responder às questões solicitadas e receber *feedbacks* sobre a sua exatidão, e a Interface Física (Figura 10(a)) para manipular o ponteiro físico e observar as variações dos valores de seno e cosseno conforme o movimento do ponteiro. O objetivo era permitir uma compreensão prática e interativa dos conceitos trigonométricos.

Etapla 4: Avaliação e Feedback - Após as atividades de fixação, todos os estudantes realizaram uma prova (Pós-teste) para avaliar a compreensão dos conceitos. Além disso, os estudantes do Grupo OTA preencheram um formulário de feedback sobre a experiência de aprendizado com o objeto tangível.

O estudo foi planejado em blocos de aula equivalentes para ambos os grupos, de modo a contemplar as atividades: aula introdutória, pré-teste, aula expositiva dialogada sobre “Trigonometria: Ciclo Trigonométrico”, atividade de fixação e pós-teste. Para os dois grupos a aula contou com uso de quadro branco, pincéis, computador, projetor multimídia, apresentação em slides e transferidor, diferindo somente a atividade de fixação, onde o Grupo Tradicional (GN) fez uma atividade baseada em papel, caneta e transferidor e o Grupo OTA (GT) fez uso do Objeto Tangível de Aprendizagem “Quadro Trigonométrico”. Assim, buscou-se manter equivalentes os objetivos de aprendizagem, os conteúdos, os materiais expositivos e a avaliação aplicada aos grupos, tendo como principal diferença o suporte utilizado na atividade de fixação: papel, caneta e transferidor no Grupo Tradicional, e objeto tangível no Grupo OTA. Além disso, é importante ressaltar que a atividade de fixação tradicional envolveu identificação dos intervalos dos quadrantes, marcação de ângulos no círculo trigonométrico e resolução de sentenças envolvendo seno e cosseno, enquanto as instâncias do OTA implementaram exercícios correspondentes a essas atividades. Os planos de aula, slides e outros materiais utilizados podem ser encontrados nos apêndices do trabalho de Leitão (2023).

5.2 Exercícios Aplicados

Os exercícios aplicados foram fundamentais para subsidiar a análise descritiva do desempenho dos estudantes nas atividades definidas no objeto tangível. Assim, foram utilizados exercícios específicos para cada função trigonométrica, conforme descrito a seguir: (1) **Exercício - Ângulo** - Atividade de fixação onde os alunos completaram tabelas indicando intervalos de variação de cada quadrante e marcaram pontos no círculo trigonométrico utilizando um transferidor; (2) **Exercício - Seno** - Os alunos manipularam o ponteiro físico para identificar valores de seno correspondentes a diferentes ângulos. Este exercício permitiu observar as variações do seno conforme o movimento do ponteiro e responder a questões baseadas nessas observações; (3) **Exercício - Cosseno** - Similar ao exercício do seno, os alunos manipularam o ponteiro físico para identificar valores de cosseno de diferentes ângulos. A atividade incluía questões sobre a relação entre o ângulo e o valor do cosseno; e (4) **Exercício - Tangente** - Os alunos calcularam valores de tangente para ângulos específicos e usaram o ponteiro físico para encontrar ângulos que satisfizessem sentenças apresentadas nos enunciados dos casos de teste.

5.3 Análise dos Resultados

Os resultados do estudo de caso foram organizados em fases de análise, onde a Fase ‘1’ apresenta uma análise descritiva dos indícios de aprendizagem observados a partir das métricas de avaliação propostas, comparando o uso do objeto tangível e uma abordagem tradicional e, a Fase ‘2’ analisa a percepção dos estudantes sobre o uso do OTA usando a técnica TAM3 (Venkatesh & Bala, 2008).

5.3.1 Fase 1 - Análise Descritiva do Desempenho com o Objeto Tangível e comparação com uma Abordagem Tradicional

Baseado na metodologia GQM (*Goal Question Metric*), proposta por Basili et al. (1994), a Tabela 11 apresenta os objetivos da fase, enquanto a Tabela 12 detalha as questões de pesquisa e as respectivas métricas.

Em razão do caráter exploratório do estudo e do tamanho reduzido da amostra, optou-se por reformular as hipóteses inicialmente apresentadas no trabalho original de Leitão (2023) como proposições orientadoras da análise descritiva.

- P1: A interação com o OTA pode produzir indícios favoráveis de aprendizagem de relações no círculo trigonométrico.
- P2: Os resultados observados no Grupo OTA evidenciarão a promoção da aprendizagem ativa, apontando para um maior engajamento prático e um desempenho superior na resolução dos problemas propostos quando comparados ao Grupo Tradicional.

Além disso, é importante salientar que as métricas utilizadas nesta fase foram definidas na Seção 4.4, de modo que, para facilitar a leitura da análise, a Nota Tradicional indica a proporção de acertos; a Nota Ponderada indica a proximidade da resposta em relação à solução esperada; a Assertividade relaciona acertos e alterações de resposta; o Tempo de Resposta registra a duração da resolução; e, o Nível de Compreensão combina dificuldade, assertividade e tempo.

Tabela 11: Objetivos – Fase 1.

Analisar	O uso de Objetos Tangíveis de Aprendizagem
Com o objetivo de	avaliar
No que diz respeito à	análise descritiva do desempenho dos estudantes com o uso do OTA e com a abordagem tradicional
No contexto	educação escolar
Do ponto de vista do	Pesquisador

Tabela 12: Questões (Q) e Métricas(M) – Fase 1.

Item	Questão	Métrica
1	Qual a relação entre a quantidade de respostas corretas e o total de questões avaliadas no pré e no pós teste de cada grupo?	Nota Tradicional
2	Qual a relação entre a quantidade de respostas mais próximas ao correto e o total de questões avaliadas no pré e no pós teste de cada grupo?	Nota Ponderada
3	Qual a relação entre a quantidade de respostas dadas pelos estudantes e a quantidade de respostas corretas no pré e no pós teste de cada grupo?	Grau de Assertividade
4	Qual o tempo gasto pelos estudantes para responder às questões no pré e pós teste?	Tempo de Resposta
5	Qual o nível de compreensão dos estudantes levando em consideração o nível de dificuldade do conteúdo avaliado e o tempo gasto nas respostas no pré e no pós teste?	Nível de Compreensão

Sobre os resultados observados com o objeto tangível

A Figura 16 resume a evolução dos participantes do Grupo T (que utilizou o objeto tangível) comparando pré e pós-teste para as métricas selecionadas na Tabela 12. Assim, observando a Figura 16(a), com relação à questão de pesquisa Q1, nota-se que os valores são maiores no pós-teste, de modo que houve um aumento de 166,08% no valor médio da Nota Tradicional e o intervalo do primeiro e terceiro quartis do pré-teste está entre 0,200 e 0,267 e do pós-teste está entre 0,600 e 0,800.

No que diz respeito à questão Q2, a Figura 16(b) apresenta o gráfico de caixa da Nota Ponderada, no qual nota-se um aumento da média ponderada, onde a nota mínima do pós-teste (0,4833) é aproximadamente 3% menor do que o limite superior (0,5000) do pré-teste. De um modo geral, a distribuição da turma no pós-teste ficou entre 0,6917 (1º Quartil) e 0,8750 (3º Quartil).

Assim, considerando a média em ambos os testes, houve um aumento de 75,93% na Nota Ponderada. Além disso, salienta-se que a NP considera o quão próximo da resposta correta o participante chegou, de modo que ela fornece uma melhor percepção do aprendizado do que a Nota Tradicional. Por fim, a mediana do pré-teste da nota ponderada foi 0,4250, enquanto a mediana do pós-teste foi de 0,7667, o que implica em um aumento de 80,39%.

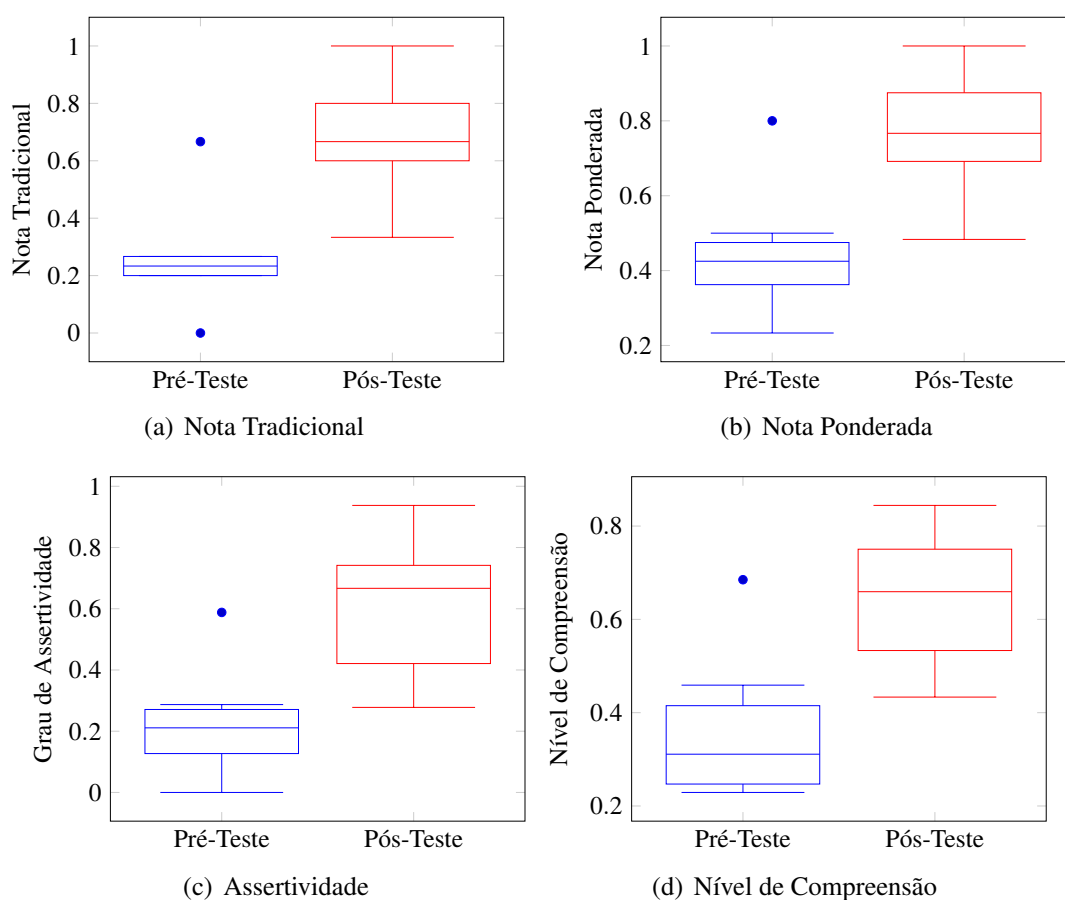


Figura 16: Grupo T: NT, NP, A e NC do Pré e Pós-Teste.

A fim de responder à questão Q3, utilizou-se o Grau de Assertividade para medir a autoconfiança do participante com relação à correção das respostas dadas. Assim, a Figura 16(c) indica visualmente que houve uma melhoria na autoconfiança no pós-teste. Além disso, nota-se que o grau de assertividade do grupo testado aumentou em 171,06% com relação ao pré-teste (de 0,223 para 0,644).

A questão Q4 discute o Tempo de Resposta, onde a Figura 17 apresenta o gráfico de caixa relativo aos dados do grupo analisado. Assim, é importante ressaltar que a mediana do tempo de resposta do Grupo T aumentou 77,70% em relação ao pré-teste, de modo que os participantes levaram mais tempo para responder às questões do pós-teste, o que indica que, uma vez executadas as atividades propostas com o objeto tangível, os participantes foram capazes de refletir e ponderar mais sobre as respostas das questões do teste.

Com relação ao tempo de cada questão, com exceção das questões Q2, Q7 e Q11, houve um aumento no tempo médio de resposta do grupo avaliado para todas as questões, onde as questões Q2 e Q11 correspondem ao mesmo tópico avaliado ('Quadrante no círculo trigonométrico') e a Q7 corresponde ao tópico 'Radianos'. Por outro lado, as questões com maior aumento percentual médio no tempo foram Q4 (246,65%), Q3 (245,25%), Q6 (474,37%) e Q10 (213,30%), onde Q3, Q4 e Q6 estão relacionadas ao tópico 'Radianos' e Q10 ao tópico 'Quadrante no círculo trigonométrico'.

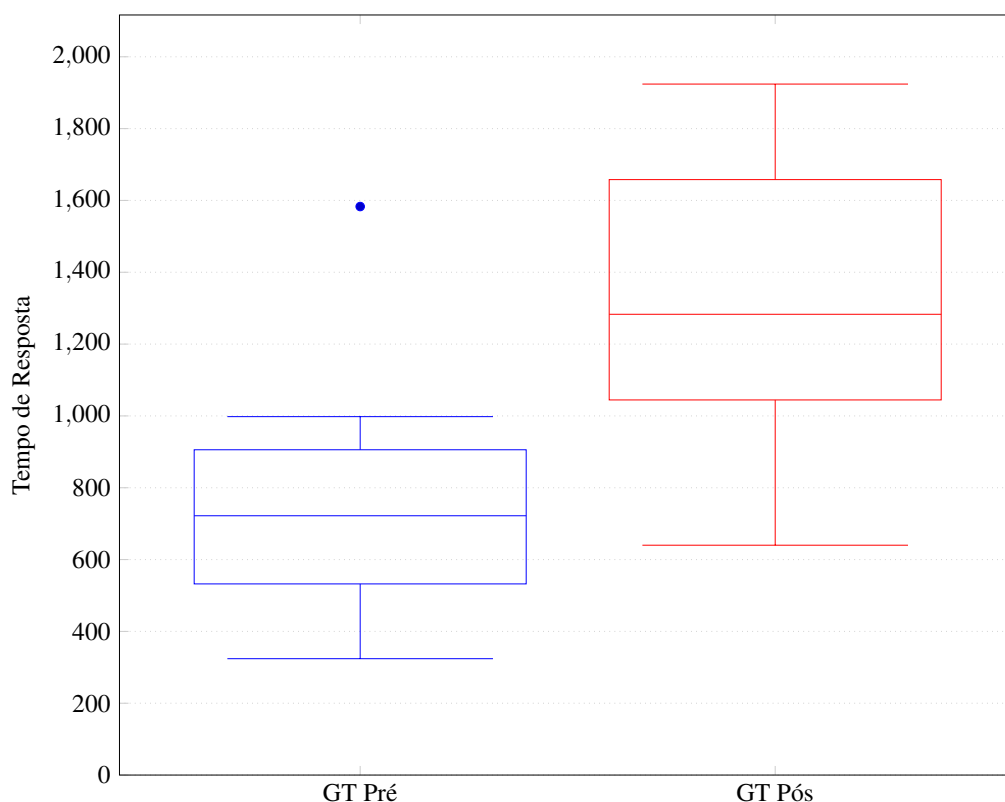


Figura 17: Tempo de Resposta do Grupo T no pré-teste e no pós-teste.

A questão de pesquisa Q5 analisa os resultados observados a partir da perspectiva no Nível de Compreensão, levando em consideração os índices de dificuldade da questão, do conteúdo (tópico), o tempo gasto e o grau de assertividade da resposta. Assim, na Figura 16(d) nota-se que o Nível de Compreensão segue a tendência das métricas nas quais está baseado, de modo que houve melhora no desempenho do grupo com relação ao pré-teste, inclusive considerando que o tempo de resposta médio foi maior no pós-teste.

Em termos numéricos, no pré-teste, a caixa do Grupo T varia de 0,247 a 0,415 com mediana em 0,311, enquanto no pós-teste varia de 0,533 a 0,750 com mediana em 0,659 (aumento de 111,86% no pós-teste). Além disso, no pré-teste, a mínima e a máxima estão em 0,229 e 0,459, respectivamente, e no pós-teste estão em 0,433 e 0,844. De um modo geral, observou-se um aumento de 83,14% na média do nível de compreensão do Grupo T.

Por fim, considerando o caráter exploratório do estudo de caso, a análise dos resultados desta primeira parte da Fase 1 buscou verificar se as métricas propostas sugerem evidências favoráveis ao uso do objeto tangível no apoio à aprendizagem, conforme formulado na proposição orientadora P1 (“A interação com o OTA pode produzir indícios favoráveis de aprendizagem de relações no círculo trigonométrico”). Assim, tendo como parâmetro as métricas e questões apresentadas na Tabela 12, além da discussão feita nesta seção, os resultados observados apontam para uma evolução nas métricas analisadas.

Comparação entre o objeto tangível e o ensino tradicional

Para analisar os resultados observados com o uso do Objeto Tangível de Aprendizagem (OTA) em relação à abordagem tradicional, foram aplicadas as oito métricas apresentadas nas Tabelas 8 e 9. A análise foi conduzida de forma quantitativa-descritiva utilizando como referência as médias, desvios-padrão e a distribuição dos resultados obtidos pelos grupos.

A Tabela 13 sintetiza os resultados comparativos entre o Grupo OTA e o Grupo Tradicional, de modo que podem ser observados valores médios superiores para o Grupo OTA em métricas relacionadas ao desempenho e à compreensão, como Nota Tradicional, Nota Ponderada, Grau de Assertividade e Nível de Compreensão da Questão. Além disso, em números absolutos: a Nota Tradicional média do Grupo OTA foi de 0,674, enquanto a do Grupo Tradicional foi de 0,583, a Nota Ponderada média foi de 0,774 no Grupo OTA e 0,711 no Grupo Tradicional e o Grau de Assertividade médio foi de 0,603 no Grupo OTA e 0,454 no Grupo Tradicional. Assim, esses resultados sugerem indícios favoráveis ao uso do OTA no contexto investigado.

Além disso, embora o Grupo OTA tenha apresentado um tempo médio ligeiramente menor que o Grupo Tradicional, a métrica Tempo de Resposta não deve ser reduzida somente à velocidade (agilidade) com relação ao tempo gasto, uma vez que a interação com o objeto tangível pode conter processos de exploração, reflexão e ajuste das respostas durante a manipulação do objeto. Assim, quando analisado em conjunto com a Nota Ponderada, a Assertividade e o Nível de Compreensão, o Tempo de Resposta contribui para interpretar como os estudantes interagiram com o recurso didático e não apenas quanto tempo levaram para concluir a atividade.

Além disso, essa interpretação pode ser articulada à perspectiva de Dewey sobre a reconstrução da experiência, uma vez que o aumento no tempo de resposta pode sugerir que os estudantes dedicaram mais tempo à reflexão e à reorganização das suas respostas após a interação com o objeto tangível. Ademais, o feedback contínuo oferecido pelo OTA pode ser compreendido como uma forma de mediação no processo de aprendizagem, fazendo assim uma aproximação da noção de apoio ao desenvolvimento potencial discutida por Vygotsky.

Portanto, os resultados obtidos permitem sustentar que, no contexto deste estudo de caso exploratório, o uso do objeto tangível esteve associado a indícios positivos de aprendizagem, maior aproximação das respostas esperadas, melhor assertividade e percepção favorável dos estudantes. Tais resultados reforçam o potencial do OTA como recurso de apoio ao ensino de relações trigonométricas e como fonte de dados ao acompanhamento da aprendizagem.

Tabela 13: Resultados quantitativos das métricas utilizadas.

Métrica	Grupo OTA (Média ± DP)	Grupo Tradicional (Média ± DP)
Nota Tradicional (NT)	0,674 ± 0,196	0,583 ± 0,298
Nota Ponderada (NP)	0,774 ± 0,149	0,711 ± 0,223
Grau de Assertividade (GA)	0,603 ± 0,206	0,454 ± 0,269
Tempo de Resposta (TR)	1321,778 ± 393,884 segundos	1402,167 ± 732,677 segundos
Nível de Compreensão da Questão (NCQ)	0,644 ± 0,132	0,620 ± 0,183

5.3.2 Fase 2 - Feedback dos Alunos

Os estudantes do Grupo OTA preencheram um formulário de experiência do usuário sobre o uso do OTA. As respostas indicaram percepções positivas quanto à interação com o objeto tangível, destacando a facilidade de entendimento e a interatividade proporcionada pelo OTA. O formulário

foi baseado no Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM3) (Venkatesh & Bala, 2008), que avalia três aspectos principais: Utilidade Percebida (UP), Satisfação Percebida (SP) e Intenção de Uso (IU).

Utilidade Percebida - Os itens avaliados no aspecto de Utilidade Percebida, e suas respectivas médias e percentuais de aceitação estão detalhados na Tabela 14. Observou-se que a média da opinião dos participantes em todos os itens foi acima de 6,78, com o item UP4 atingindo 100% de aceitação, indicando que os alunos consideraram o OTA extremamente útil para o processo de ensino-aprendizagem.

Tabela 14: Utilidade percebida.

Utilidade Percebida	Média da opinião dos participantes	Percentual de aceitação
UP1	6,89	98,41%
UP2	6,89	98,41%
UP3	6,78	96,83%
UP4	7,00	100,00%

Satisfação Percebida - A Satisfação Percebida, veja a Tabela 15, foi medida por três itens, com os itens SP1 e SP2 recebendo a mesma média (6,67) e percentual de aceitação (95,24%). Isso mostra que os alunos acharam o uso do OTA agradável e prazeroso. O item SP3, que mede o quão divertido foi estudar com o OTA, obteve uma média de 6,22, correspondendo a 88,89% de aceitação.

Tabela 15: Satisfação percebida.

Satisfação Percebida	Média da opinião dos participantes	Percentual de aceitação
SP1	6,67	95,24%
SP2	6,67	95,24%
SP3	6,22	88,89%

Intenção de Uso - Apresentada na Tabela 16, a Intenção de Uso futura do OTA foi avaliada por três itens. As afirmações IU1 e IU2, que verificam a intenção de uso do OTA caso os alunos tivessem acesso a ele, obtiveram médias de 6,67 e 6,78, respectivamente. O item IU3, que indaga sobre a intenção de uso no próximo mês, teve uma média de 6,33, indicando um alto percentual de aceitação, apesar da incerteza sobre o acesso ao OTA. Os participantes também responderam a perguntas abertas sobre suas percepções e experiências com o OTA. Alguns dos principais comentários incluem:

- **Conforto e Facilidade de Uso:** (i) “Sim, achei uma experiência muito confortável e muito útil”; (ii) “Sim porque ele é bem fácil de ser usado”; e (iii) “Sim, pois é muito mais divertido estudar com OTA”.
- **Ajuda na Aprendizagem:** (i) “Sim, porque ajudou bastante na minha aprendizagem”; (ii) “Eu me senti à vontade porque o OTA melhorou muito meu entendimento do assunto”; e (iii) “Senti, pois usar OTA ajuda muito com os ângulos e mantém entretido por horas e horas”.

Tabela 16: Intenção de uso.

Intenção de Uso	Média da opinião dos participantes	Percentual de aceitação
IU1	6,67	95,24%
IU2	6,78	96,83%
IU3	6,33	90,48%

5.4 Limitações e Transferibilidade

É importante ressaltar que, por se tratar de um estudo de caso exploratório realizado com uma única turma e com número reduzido de participantes, os resultados devem ser interpretados como evidências situadas no contexto investigado, e não como generalizações estatísticas. Essa delimitação permitiu observar em maior detalhe o processo de implementação do OTA, a interação dos estudantes com o recurso didático e a interpretação das métricas de aprendizagem associadas ao estudo.

Assim, a contribuição deste estudo está relacionada à transferibilidade analítica dos procedimentos, métricas e padrões observados para contextos educacionais semelhantes, especialmente os que se relacionam ao ensino de conceitos abstratos de Matemática através de objetos tangíveis integrados a ambientes digitais de aprendizagem.

Por fim, como ameaça à validade, reconhece-se que, embora o estudo tenha sido planejado em blocos equivalentes de aula e avaliação, diferenças inerentes à dinâmica de cada grupo e o possível efeito de novidade associado ao uso do OTA podem ter influenciado o engajamento dos participantes.

6 Conclusão

Este trabalho apresentou e discutiu um modelo de educação apoiada por tecnologia com foco na criação e utilização de objetos tangíveis de aprendizagem, além de novas métricas de avaliação da aprendizagem. Assim, foi apresentado um método para integração de objetos tangíveis, ambientes digitais de aprendizagem e métricas de acompanhamento e avaliação da aprendizagem de forma a possibilitar que uma plataforma digital de aprendizagem contenha, simultaneamente, objetos de aprendizagem tradicionais e tangíveis.

É importante salientar que a inserção de tecnologia tal como aqui é proposta pretende auxiliar no caminho rumo a uma educação que utilize os recursos computacionais como meio para construção do conhecimento, onde a tecnologia não é uma simples ferramenta de reprodução/transmissão de conteúdos, mas um meio de interpelar o estudante e instigá-lo na busca pelo conhecimento. Desse modo, acredita-se que as principais contribuições deste trabalho foram o estabelecimento de: (1) um *modelo referencial para objetos tangíveis*, (2) um *modelo de processos para criação e integração de objetos tangíveis a plataformas educacionais*, (3) *modelo de comunicação entre as entidades física e digital*, (4) *métricas para acompanhamento da aprendizagem através de objetos tangíveis* e (5) *modelo de processos para aplicação das métricas propostas*.

Por fim, a inserção de recursos computacionais nos processos de educação é apenas o ponto de partida para uma revolução nas metodologias de ensino e, principalmente, do acompanha-

mento da aprendizagem dos estudantes. Assim, uma série de trabalhos futuros pode explorar não somente a construção e integração de novos objetos tangíveis e o modo de registrar as interações dos estudantes, mas, também, a automatização das análises, diagnósticos e recomendações cujos dados são provenientes desses objetos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES-PROEX), Código de Financiamento 001. Este trabalho foi parcialmente financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) por meio do projeto POSGRAD 2024/2025 e pelo Edital Nº 012/2023 – Startup Áreas Estratégicas.

Artigo Premiado Estendido

Esta publicação é uma versão estendida do melhor artigo do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2024), intitulado “Objeto Tangível para Estudo de Trigonometria do Triângulo Retângulo”. DOI: <http://doi.org/10.5753/sbie.2024.242340>.

Referências

- Almeida, M. E. B. (2000). *ProInfo: Informática e formação de professores*. Ministério da Educação, Secretaria de Educação a Distância. [GS Search].
- Almeida, T. (2018). Como a Educação 4.0 mudará nossas escolas? [Acesso em 1 maio 2026]. [Link] [GS Search].
- Basili, V. R., Caldiera, G., & Rombach, H. D. (1994). Goal, Question Metric Paradigm. *Encyclopedia of Software Engineering*. [GS Search].
- Biswas, P., & Ghosh, S. (2007). A Novel Approach to Define Performance Metrics for Students’ and Teachers’ Evaluation. *Electronic Journal of e-Learning*, 5(2), 87–102. [GS Search].
- Blikstein, P., Fuhrmann, T., Greene, D., & Salehi, S. (2012). Bifocal Modeling: Mixing Real and Virtual Labs for Advanced Science Learning. *Proceedings of the 11th International Conference on Interaction Design and Children*, 296–299. doi: [10.1145/2307096.2307150](https://doi.org/10.1145/2307096.2307150) [GS Search].
- Blikstein, P., Fuhrmann, T., & Salehi, S. (2016). Using the Bifocal Modeling Framework to Resolve “Discrepant Events” Between Physical Experiments and Virtual Models in Biology. *Journal of Science Education and Technology*, 25(4), 513–526. doi: [10.1007/s10956-016-9623-7](https://doi.org/10.1007/s10956-016-9623-7) [GS Search].
- Dewey, J. (1971). *Experiência e educação*. (1938). Trad. Anísio Teixeira. São Paulo: Cia Editora Nacional.
- Docs, B. (2026). What is Blockly? Blockly Docs, 2026 [Acesso: 11 set. 2026]. [Link].
- Freire, P., & Papert, S. (1996). *Diálogos impertinentes: o futuro da escola*. São Paulo: TV PUC. [Link].

- Gluz, J., Passerino, L., Preuss, E., Baierle, I. L. F., & Cimadevila, M. (2018). Ambiente Virtual Tangível para Integração Sensorial no Ensino de Ciências numa Perspectiva Inclusiva. *Simp. Bras. de Informática na Educação-SBIE*, 29, 545. doi: [10.5753/cbie.sbie.2018.545](https://doi.org/10.5753/cbie.sbie.2018.545) [GS Search].
- Guterres, J. P. D., & Moraes, S. M. W. (2014). Fábrica de Objetos: Uma Plataforma para Construção de Objetos de Aprendizagem focada na Usabilidade. *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE*, 25, 516. [GS Search].
- Ha, O., & Fang, N. (2018). Interactive Virtual and Physical Manipulatives for Improving Students' Spatial Skills. *Journal of Educational Computing Research*, 55(8), 1088–1110. doi: [10.1177/0735633117697730](https://doi.org/10.1177/0735633117697730) [GS Search].
- Imamura, R. E., & Baranauskas, M. C. (2018). Criando uma experiência de leitura colaborativa de histórias fictícias físico-virtuais com realidade aumentada. *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE*, 29, 31. [GS Search].
- Ishii, H., & Ullmer, B. (1997). Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces Between People, Bits and Atoms. *ACM Conf. on Human factors in computing systems*, 234–241. doi: [10.1145/258549.258715](https://doi.org/10.1145/258549.258715) [GS Search].
- Leitão, G. (2017). *Uma plataforma de suporte ao docente no contexto da Educação Digital*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas. [Link] [GS Search].
- Leitão, G. (2023). *Um método baseado em objetos tangíveis para verificação da aprendizagem*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Amazonas. [Link] [GS Search].
- Leitão, G., Colonna, J. G., Monteiro, E., Oliveira, E. H. T., & Barreto, R. S. (2020). New Metrics for Learning Evaluation in Digital Education Platforms. *CoRR*, abs/2006.14711. doi: [10.48550/arXiv.2006.14711](https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.14711) [GS Search].
- Lima, I., Castro, T., Dantas, A., & Siqueira, M. (2016). Processo de Design Colaborativo de Artefatos Tangíveis para Crianças. *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos*, 1408–1422. doi: [10.5753/sbsc.2016.9499](https://doi.org/10.5753/sbsc.2016.9499) [GS Search].
- Lucena, K., Silva, J., & Oliveira, E. (2015). WebMonitor: uma ferramenta para monitoramento e acompanhamento de cursos em um AVA. *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, 26, 249. [GS Search].
- Nogueira, C. M. M., & Nogueira, M. A. (2013). *Bourdieu & a educação*. Autêntica. [GS Search].
- Nunes, I., Silva, W. M., Laisa, J., Ugulino, F., & Lucena, M. (2016). Learning Analytics como ferramenta para a análise do desempenho dos alunos em Cursos Semipresenciais. *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, 27, 280. [GS Search].
- Papert, S. (1994). *A máquina das crianças: Repensando a escola na era da informática*. Artes Médicas.
- Papert, S., Valente, J. A., & Bitelman, B. (1980). *Logo: computadores e educação*. Brasiliense.
- Passos, O., Souza, M., Silva, M., & Santos, R. (2010). Transformando um Editor de Apresentação em uma Ferramenta de Autoria: Uma Experiência com os Professores de Escolas Públicas do Município de Itacoatiara (AM). *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, 61–64. [GS Search].
- Salehi, S., Schneider, B., & Blikstein, P. (2014). The Effects of Physical and Virtual Manipulatives on Learning Basic Concepts in Electronics. *Human Factors in Computing Systems*, 2263–2268. doi: [10.1145/2559206.2581346](https://doi.org/10.1145/2559206.2581346) [GS Search].

- Sales, G., Albuquerque, M. C., Paz, R. P., & Leite, E. A. (2019). Modelo Learning Vectors na Avaliação Formativa no AVA Moodle: de Emoticons a GIFs Animados. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, 64–76. [\[GS Search\]](#).
- Sales, G. L., Barroso, G. C., & Soares, J. M. (2012). Learning vectors (LV): Um modelo de avaliação processual com mensuração não-linear da aprendizagem em ead online. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 20(1), 60. [\[GS Search\]](#).
- Santos, R. A. P. (2014). *Ambientes Físico-virtuais de Aprendizagem*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande (FURG). [\[Link\]](#) [\[GS Search\]](#).
- Serbanati, A., Medaglia, C. M., & Ceipidor, U. B. (2011). Building blocks of the internet of things: State of the art and beyond. Em *Deploying RFID-Challenges, Solutions, and Open Issues*. IntechOpen. [\[GS Search\]](#).
- Silva, M. F. (2011). *Trigonometria, modelagem e tecnologias: um estudo sobre uma sequência didática*. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática. PUC Minas. [\[Link\]](#) [\[GS Search\]](#).
- Ullmer, B., & Ishii, H. (2000). Emerging Frameworks For Tangible User Interfaces. *IBM systems journal*, 39(3.4), 915–931. doi: [10.1147/sj.393.0915](#) [\[GS Search\]](#).
- Venkatesh, V., & Bala, H. (2008). Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. *Decision sciences*, 39(2), 273–315. doi: [10.1111/j.1540-5915.2008.00192.x](#) [\[GS Search\]](#).
- Vicari, R. M., Gluz, J. C., Santos, E. R., Primo, T. T., Rossi, L., Bordinon, A., Behar, P., Passerino, L., Filho, R., & Roesler, V. (2009). *Proposta de Padrão para Metadados de Objetos de Aprendizagem Multiplataforma. Projeto OBAA* (rel. técn.). UFRGS.
- Vygotsky, L. S. (1998). *A formação social da mente*. São Paulo: Martins Fontes.
- Zacharia, Z. C., & Olympiou, G. (2011). Physical versus virtual manipulative experimentation in physics learning. *Learning and Instruction*, 21(3), 317–331. doi: [10.1016/j.learninstruc.2010.03.001](#) [\[GS Search\]](#).
- Zuckerman, O., Arida, S., & Resnick, M. (2005). Extending tangible interfaces for education: digital montessori-inspired manipulatives. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, 859–868. doi: [10.1145/1054972.1055093](#) [\[GS Search\]](#).