

# Robótica aumentada: Interação entre robôs reais e cenários virtuais projetados com aplicação no ensino de Física

## RESUMO

**Gilberto de Oliveira Viana**  
[gilberto.viana@gmail.com](mailto:gilberto.viana@gmail.com)  
[orcid.org/0000-0002-1257-9430](https://orcid.org/0000-0002-1257-9430)  
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), Telêmaco Borba, Paraná, Brasil

**Rafael João Ribeiro**  
[rafael.ribeiro@ifpr.edu.br](mailto:rafael.ribeiro@ifpr.edu.br)  
[orcid.org/0000-0002-9076-3663](https://orcid.org/0000-0002-9076-3663)  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná (IFPR), Telêmaco Borba, Paraná, Brasil

**Gregory Vinicius Conon Figueiredo**  
[Gregory.figueiredo@ifpr.edu.br](mailto:Gregory.figueiredo@ifpr.edu.br)  
[orcid.org/0000-0003-1135-7972](https://orcid.org/0000-0003-1135-7972)  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná (IFPR), Telêmaco Borba, Paraná, Brasil

Este trabalho relata um estudo sobre a combinação da Robótica com Realidade Aumentada no ensino de Física, baseada em uma técnica que utiliza a projeção de cenários virtuais criados para permitir a imersão de robôs reais. Essa técnica apresenta-se como uma alternativa às pistas, tradicionalmente, criadas com fitas adesivas em competições com robôs seguidores de linhas. A viabilidade da proposta foi realizada com testes experimentais realizados durante a construção de um sistema com robôs e sensores programados para a detecção de luz proveniente de projeção vertical. Para o ensino de Física, um material didático foi elaborado e disponibilizado para o conteúdo de Cinemática, para aplicação da proposta com robôs montados tanto com Lego *Mindstorms* como com a plataforma Arduino. A plataforma Arduino é uma alternativa de código aberto, de baixo custo e que apresentou os mesmos resultados esperados, tornando o uso acessível para a maioria das escolas. Com o Arduino, é possível também reutilizar componentes de sucata eletrônica. Além do ensino de Física, a Olimpíada Brasileira de Robótica é um exemplo de nicho que também pode ser beneficiado com essa proposta.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensino de Física. Robótica. Realidade Aumentada.

## INTRODUÇÃO

Este trabalho descreve uma proposta definida aqui como Robótica Aumentada, com a utilização de robôs reais, juntamente com a projeção de cenários virtuais, que foi desenvolvida, primeiramente, para ser aplicada no ensino de Física, especificamente, a Cinemática.

Antes do desenvolvimento do modelo proposto, foram feitas pesquisas sobre Robótica Educacional e, nos trabalhos encontrados, observou-se a utilização de robôs seguidores de linha com o uso de pistas convencionais, que são construídas com marcações feitas com fitas isolantes. Essas pistas formam os tapetes de competição que são, geralmente, descartados após o uso. Diferentemente, neste trabalho, foi realizada uma investigação para a validação de um modelo em que as pistas com fitas isolantes são substituídas por projeções, direcionadas diretamente para o chão, para servirem de guia para os robôs. Assim, as pistas projetadas são geradas e controladas por computador, passando a contar com linhas ou demarcações dinâmicas e não estáticas.

Utilizando conceitos semelhantes, foram encontrados trabalhos que utilizam a Realidade Aumentada, porém com finalidades diferentes. Um exemplo é o trabalho de Omidshafiei *et al.* (2016) no qual se utiliza a Realidade Aumentada Mensurável para Prototipagem de Sistemas Ciber-Físicos e detalha-se uma plataforma de prototipagem robótica, chamada *Measurable Augmented Reality for Prototyping Cyberphysical Systems (MAR-CPS)*, que aborda os problemas e desafios de planejamento, controle, percepção e aprendizagem em pesquisa atuais em sistemas multirrobôs. O foco do trabalho, em Omidshafiei *et al.* (2016), é aumentar a compreensão de algoritmos complexos de planejamento e controle.

Uma dificuldade encontrada no início do delineamento desta proposta foi a decisão de qual termo ou expressão usar para descrever adequadamente o modelo desenvolvido. Recentemente, Makhataeva e Varol (2000) publicaram uma pesquisa de revisão sobre o uso da realidade aumentada na robótica, diante de numerosas aplicações nesta área que surgiram nos últimos anos. Os autores analisaram uma amostra de cem artigos publicados no período de 2015 a 2019, classificando os trabalhos em quatro áreas: (1) robótica médica; (2) planejamento e controle de movimento; (3) interação humano-robô e (4) enxame de robôs. Dentro dessas quatro classificações, os autores organizaram os trabalhos em três grupos: (1) realidade aumentada; (2) realidade misturada e (3) realidade virtual.

Dentro das classificações definidas por Makhataeva e Varol (2000), a nossa proposta apresenta maior semelhança com os trabalhos descritos na categoria (2) planejamento e controle de movimento e com categoria (4) enxames de robôs, essa última por envolver ambientes com robôs e projeções interativas em alguns casos. Na categoria (2), os autores identificaram sistemas como braços robóticos auxiliados por projeção-aumentada, robôs que seguem caminhos auxiliados por sinais provenientes de projeções de infravermelho, controle de robôs por humanos com o auxílio de realidade aumentada, além de outros arranjos com robôs autônomos ou drones combinados com técnicas avançadas de projeção interativa e sensoriamento. No caso dos trabalhos da categoria (4), alguns utilizam a realidade aumentada e simulação virtual para auxiliar o movimento de enxames de robôs. Nesses casos, a implementação de tais sistemas requerem equipamentos de alto custo e conhecimento técnico-científico que ultrapassam a possibilidade de aplicação na Robótica Educacional.

Nos últimos anos, também surgiram muitos avanços na robótica guiada por visão, como no caso dos robôs empregados na Indústria 4.0, com aplicações na inspeção de qualidade e separação de objetos. Neste segmento, Pandin e Bruce (2019) criaram um protótipo didático de robô guiado por visão para auxiliar na formação de estudantes de Engenharia Mecânica. Porém, apesar da sua finalidade didática, o protótipo envolve equipamentos de alto custo.

Assim, a diferença da nossa proposta com os exemplos citados acima de arranjos de realidade aumentada na robótica está na acessibilidade e finalidade, ao utilizar materiais de baixo custo e de fácil montagem, permitindo seu emprego por professores e estudantes da Educação Básica, principalmente, dentro de uma realidade escolar que já possua projetos de Robótica Educacional.

Para referenciar a nossa proposta, optou-se pela expressão “Robótica Aumentada” para representar de forma geral e simplificada os arranjos compostos por robótica combinada com técnicas que envolvem realidade aumentada, realidade misturada, sistemas ciber-físicos, projeção interativa ou qualquer outro meio capaz de aumentar as possibilidades de interatividade de robôs reais com a inserção, no mesmo ambiente, de elementos de origem ou controle virtual.

O modelo foi elaborado para aplicação na Robótica Educacional em consonância com a Teoria Construcionista de Seymour Papert, ao permitir aos professores e estudantes a programação tanto do robô como do cenário virtual, que é projetado sobre a pista para compor as demarcações de trajetórias. Como exemplo, também foi desenvolvido um roteiro didático para auxiliar a sua aplicação no ensino de Física, mais especificamente, do conteúdo de Cinemática.

A compreensão conceitual dos princípios da Física pode ser obtida a partir da integração das atividades de robótica no currículo do Ensino Médio (CHURCH *et al.*, 2010). Ensinar os fundamentos físicos aos alunos do Ensino Médio utilizando as tecnologias disponíveis, atualmente, pode instigá-los à investigação e fazê-los compreender melhor o assunto abordado (CHURCH *et al.*, 2010). A Robótica Educacional auxilia durante a resolução de problemas, pois instiga os alunos a elaborarem hipóteses e a encontrarem soluções (BENITTI *et al.*, 2009). Para Cavalcante, Tavoraro e Molisani (2011), o computador é uma importante ferramenta cognitiva e sua utilização para o ensino e aprendizagem de Física busca diminuir a distância tecnológica entre a escola e o estudante.

Com o auxílio dessa ferramenta, é possível criar experimentos que facilitam a explicação de teorias e a comprovação prática de resultados obtidos por meio da programação de computadores. Alguns kits de robótica para montagem estão disponíveis no mercado e podem ser utilizados como ferramentas auxiliares no processo de ensino e aprendizagem. O kit *Legó Mindstorms* é um exemplo de plataforma comercial que pode ser utilizada em sala de aula (FRIEDRICH *et al.*, 2012).

De acordo com Friedrich *et al.* (2012), com essa plataforma, é possível desenvolver projetos que estimulam a criatividade ao proporem problemas do cotidiano de forma lúdica em conformidade com a Teoria Construcionista de Seymour Papert. Outra plataforma disponível no mercado, que pode ser utilizada em projetos de Robótica Educacional, é o Arduino. Essa plataforma eletrônica de código aberto é composta por um microprocessador e periféricos de entrada e saída, a qual é fácil de programar, versátil e de baixo custo, quando comparada com outras alternativas (MAGNUS; GELLER, 2016; MOREIRA *et al.*, 2018).

A Robótica Educacional é definida por Santos e Menezes (2005) como um ambiente em que o aprendiz tem acesso a computadores e componentes eletromecânicos e eletrônicos, com um ambiente de programação para que os componentes acima possam funcionar conforme objetivos específicos. Para Maisonnette (2002), a robótica é definida como o controle de mecanismos eletroeletrônicos por meio de um computador, de maneira que esse interaja com o meio ambiente e execute ações decididas por um programa criado por um programador. A Robótica Educacional oferece um instrumento de vivência de experiências que se aproximam das realizadas na vida real. Assim, surge uma oportunidade de propor e solucionar problemas complexos ao invés de apenas observar soluções (MAISONNETTE, 2002). Essa ferramenta pode ser utilizada no processo de ensino e aprendizagem, pois possui vários princípios básicos que podem ser abordados pela escola (CALEGARI; SANTOS; POZZEBON; FRIGO, 2015).

Dentro das possibilidades de robôs indicados para projetos educacionais, o *Lego Mindstorms*<sup>1</sup> trata-se de um produto desenvolvido pelo *Massachusetts Institute of Technology*, MIT, que proporciona ao usuário criar e programar seu próprio robô de maneira simples e acessível. O nome *Mindstorms* é uma homenagem ao livro de Seymour Papert: *Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas*. O autor do livro foi também parceiro da empresa Lego na construção de artefatos robotizados. Da mesma forma, a plataforma Arduino possibilita que estudantes sem experiência em programação e eletrônica possam utilizá-la para o estudo de princípios físicos (MOREIRA *et al.*, 2018).

Um exemplo de aplicação, em grande escala, dos robôs da Lego ocorre na Olimpíada Brasileira de Robótica (OBR)<sup>2</sup>, que é uma das modalidades das Olimpíadas Científicas incentivadas pelo CNPq para estimular os jovens a carreiras científico-tecnológicas, além de promover debates e atualizações no processo de ensino-aprendizagem. Além dos robôs da Lego, a OBR também promove o uso de robôs com a plataforma aberta Arduino.

A plataforma Arduino foi criada no *Ivrea Interaction Design Institute* com o objetivo de ser uma ferramenta de fácil e rápida prototipagem. O Arduino foi projetado voltado aos alunos de eletrônica, mas, devido a sua flexibilidade, pode ser usado, em milhares de projetos e aplicativos diferentes, tanto por usuários iniciantes quanto avançados. Segundo o site Arduino (2019)<sup>3</sup>, professores e alunos podem utilizar o Arduino para construir instrumentos científicos de baixo custo, para realização de experimentos de física ou química, ou para estudos de programação e robótica. Tanto o *software* quanto o *hardware* desta plataforma são de código aberto, trazendo independência aos desenvolvedores.

## CONSTRUCIONISMO

A Teoria Construtivista, elaborada por Jean Piaget, no início da década de quarenta, teve como base a observação de como as crianças aprendem conforme amadurecem (ROMÃO; SACHELLI, 2016). No modelo construtivista, o aluno deve construir seu próprio conhecimento e não somente absorver, passivamente, conhecimentos prontos a partir de livros e aulas.

Com base no Construtivismo, Seymour Papert, que trabalhou com Piaget em Genebra, desenvolveu a Teoria Construcionista, ou Construcionismo, escrita com a letra N em oposição à palavra escrita com V. Em sua teoria, Papert concorda com

Piaget que a aprendizagem ocorre com a construção de estruturas de conhecimento, mas que isso acontece, especialmente, quando o aprendiz está engajado no planejamento e na construção de um objeto que é também de conhecimento do público, que pode ser desde um castelo de areia na praia ou, até mesmo, uma teoria do universo (PAPERT; HAREL, 1991).

Seymour Papert foi um dos pioneiros a pensar no computador como uma ferramenta utilizada para concretizar um assunto formal, facilitando seu entendimento. Com isso, surgiu a possibilidade de trabalhar assuntos abstratos, como, por exemplo, a soma de vetores por meio da manipulação das “setas”, que representam os vetores, diretamente na tela do computador (VEIT; TEODORO, 2002). Aliado a essa ferramenta, o desafio por busca de respostas desperta o desejo pela descoberta e faz o aluno pesquisar e conhecer mais sobre o assunto estudado, tornando o aluno ativo na construção do conhecimento. O papel do professor, nesse processo, é apontar os caminhos para construção do saber (FORNAZA, 2016).

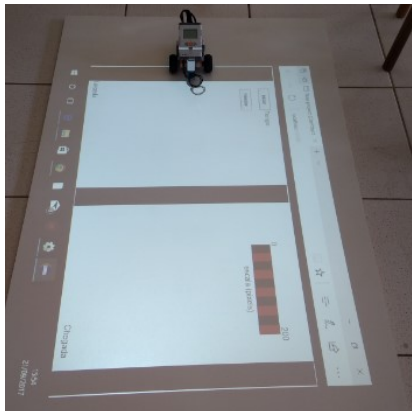
Leite (2014) afirma que, para Papert, a aprendizagem ocorre pela interação do indivíduo com o mundo e que esse contato é facilitado pelo computador e por uma linguagem de programação. Portanto, a tecnologia tem o papel de promover o desenvolvimento cognitivo durante as tarefas de aprendizagem, e se torna um meio de expressão intelectual e de exploração (MELO, 2009).

Papert vê o computador como um atrativo que facilitaria a aprendizagem das crianças (SILVA, 2009). Dessa forma, reafirma o uso da Robótica Educacional como ferramenta de aprendizagem.

### **PISTAS VIRTUAIS INTERATIVAS**

Neste trabalho, é proposta a utilização de pistas virtuais, como a mostrada na Figura 1, para serem utilizadas em desafios propostos aos alunos. A projeção dos cenários virtuais é feita utilizando um projetor comum, fixado em uma estrutura que permite que a imagem seja formada no piso ou na base da arena. A construção dessa estrutura é simples e pode ser montada e transportada com facilidade. A programação dos cenários virtuais também não requer conhecimentos aprofundados em programação. Todas as etapas de programação estão descritas em materiais de apoio desenvolvidos durante a pesquisa e disponibilizados em endereço eletrônico<sup>4</sup>.

**Figura 1** – Pista Interativa com projeção vertical



Fonte: Aatoria Própria (2017).

As pistas dinâmicas, sugeridas neste trabalho, são programadas em um *software* para criação de jogos e projetadas na base da arena, formando um cenário virtual e interativo para o robô. Dessa forma, é possível projetar obstáculos que se movem, mudando de direção, rotacionando, acelerando ou mudando de forma ou de cor. Essas pistas facilitam os desafios relacionados ao estudo da Física, pois o estudante terá que programar o robô levando em consideração os conceitos físicos de velocidade, aceleração e movimento circular, por exemplo, para concluir o trajeto. Além disso, em comparação com as pistas convencionais utilizadas nas competições de robótica nas quais o robô é programado para seguir as linhas desenhadas no chão e coletar alguns objetos durante o percurso; o trabalho com as pistas projetadas também possibilita explorar as conversões de medidas. Tais conversões devem ser trabalhadas, pois a dimensão da pista é expressa em pixels e as unidades utilizadas para medir velocidade e aceleração são pixels por segundo e pixels por segundo ao quadrado, respectivamente.

Com a utilização do *software Construct 2*, é possível fazer a construção dessas pistas e, utilizando os mecanismos de Física presentes no programa, fazer simulações que podem ser comparadas com a base teórica presente nos livros didáticos. O *software* possui um motor de física, ou *engine*, capaz de fornecer uma física simulada do mundo real, incluindo o controle de variáveis como gravidade, massa, densidade e atrito. Com o controle dessas variáveis, é possível simular problemas da Física que envolvem conhecimentos de velocidade média, movimento retilíneo uniforme, movimento uniformemente variado, lançamento oblíquo e movimento circular. Estas simulações não podem ser trabalhadas, por exemplo, nas pistas convencionais, ao serem projetadas, diretamente, no piso ou em tapetes de competição. Outro fator a ser comparado com as pistas desenhadas com fita adesiva é que os cenários virtuais permitem a possibilidade de armazenamento e compartilhamento de diversas pistas diferentes em mídias digitais, como *pendrive*, *notebook* ou armazenamento em nuvem, podendo, assim, facilitar a logística das competições de robótica. Como exemplo, algumas pistas foram compartilhadas no endereço eletrônico que acompanha os manuais e roteiros deste projeto<sup>4</sup>.

Durante a pesquisa de levantamento teórico necessário para desenvolver o projeto, não foram encontrados trabalhos similares que utilizam a projeção de imagens para compor cenários virtuais para utilizá-los com robôs de Lego ou Arduino, seguidores de linhas, com aplicação no ensino de Física. No presente

trabalho, essa técnica foi utilizada para projetar cenários virtuais para serem utilizados no ensino de Cinemática com Robótica Educacional, mas é possível utilizar e adaptar este modelo no ensino de outras áreas do currículo escolar ou em competições de Robótica.

## **METODOLOGIA**

O trabalho consistiu na programação de um robô e na criação de pistas projetadas, ou cenários virtuais, em que o robô pudesse interagir com elementos de origem ou controle virtual. Este conjunto foi utilizado para criar desafios de robótica utilizando conhecimentos de Física, especificamente a Cinemática. Um primeiro protótipo utilizando o *kit Lego Mindstorms NXT* foi elaborado durante os dois últimos semestres do curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal do Paraná – Campus Telêmaco Borba. Com o objetivo de reduzir custos e tornar o projeto mais acessível, um segundo protótipo utilizando a plataforma Arduino foi elaborado durante o curso de Especialização em Ensino de Ciência e Tecnologia da mesma instituição, em um período de 24 meses.

## **Instrumentos**

No projeto, foram utilizados o *kit Lego Mindstorms NXT* e a plataforma Arduino para o desenvolvimento dos robôs, e o *software Construct 2* e *Construct 3* para a criação das pistas. O *kit Lego Mindstorms NXT* foi escolhido para o desenvolvimento por propiciar a utilização da linguagem JAVA para a programação do robô, que amplia as possibilidades de comandos durante o desenvolvimento. O fato deste *kit* ser um dos mais utilizados em competições de robótica também foi levado em consideração durante o projeto. A plataforma Arduino foi escolhida por ser uma plataforma aberta, *open source*, e de baixo custo, portanto, mais acessível às escolas.

O *software Construct 2* utilizado para desenvolver os cenários possui um mecanismo de Física, *engine*, que facilita a simulação dos conceitos físicos envolvidos em cada desafio, permitindo a programação de variáveis ou parâmetros como aceleração, densidade dos objetos, habilitar ou desabilitar colisões dos objetos que compõem o cenário projetado. Com o auxílio dessa ferramenta, foram criadas pistas virtuais voltadas para o estudo de velocidade média, velocidade relativa ou encontro de objetos móveis, Movimento Retilíneo Uniforme (MRU) e Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV), Queda Livre, Lançamento de Projéteis e Movimento Circular.

## **Procedimentos**

A primeira etapa do trabalho, tanto no *kit Lego Mindstorm* quanto no Arduino, foi testar a leitura dos sensores. Os sensores utilizados no *kit Lego* foram projetados para detectar a luz refletida em uma superfície e foi necessário testá-los recebendo a luz proveniente de um projetor diretamente sobre eles. Para isso, foi utilizado o controlador NXT, e criado um método de leitura e exibição do valor lido pelo sensor no visor do controlador. A validação desta funcionalidade dos sensores foi crucial para o trabalho e teve o objetivo de verificar se o robô reconheceria, ou não, as demarcações das pistas interativas criadas por projeção.



O sensor do robô Arduino consiste em um LDR (*Light Dependent Resistor*) que tem sua resistência elétrica variada de acordo com a luz incidente sobre ele. A Figura 2 mostra o robô Lego durante os testes de leitura do sensor para o reconhecimento de uma pista de teste. Neste teste, o robô foi programado para exercer a função de um robô seguidor de linha, com o objetivo de seguir a pista projetada na cor preta, caminho retangular formado pela região de ausência de luz proveniente do projetor.

**Figura 2** – Teste do sensor para reconhecimento da pista



Fonte: Autoria Própria (2016).

Após os testes, verificou-se que o sensor acoplado ao robô realizava as leituras corretamente e que poderia ser utilizado para reconhecer pistas virtuais projetadas. Com isso, iniciou-se a construção de cenários virtuais interativos para serem utilizados, juntamente com o robô, para os desafios de Física. Para a criação dos cenários virtuais, foram levados em consideração os conteúdos de Física estudados no Ensino Médio que se encontram nos livros recomendados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) ou, especificamente, os conceitos de velocidade média, Movimento Retilíneo Uniforme e Movimento Uniformemente Variável, encontro de objetos móveis, Queda Livre, Lançamento de Projéteis e Movimento Circular Uniforme.

O primeiro robô foi desenvolvido utilizando o manual do *kit Lego Mindstorm NXT*. A programação em Java, para o robô Lego, e em linguagem C, para o robô Arduino, foi criada de forma a realizar a leitura dos sensores e controlar as ações de acordo com os objetos da pista; por exemplo, fazer o robô parar quando o sensor entrar em uma determinada área da pista ou acelerar quando algum objeto virtual projetado no caminho do robô desaparecer do ambiente. Estas ações foram criadas para utilização conjunta na preparação de uma lista de desafios disponibilizada em um roteiro para os estudantes, envolvendo os cenários virtuais.

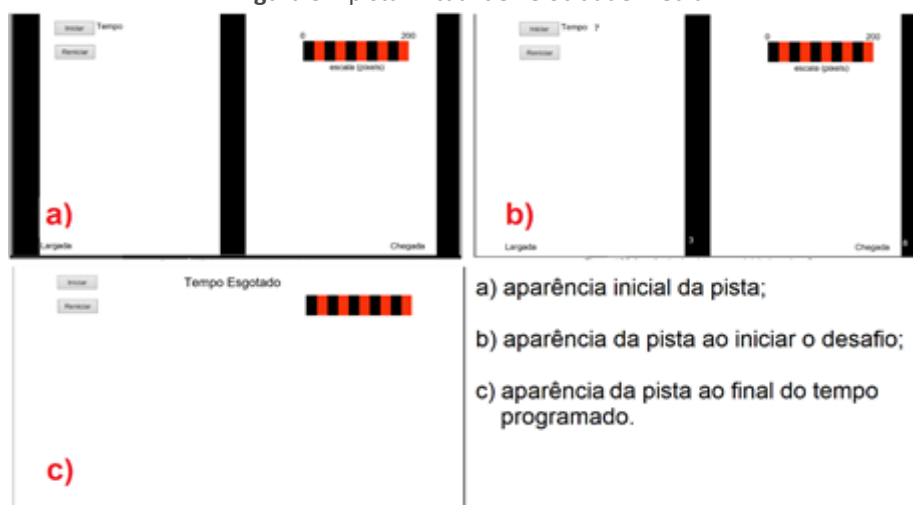
Durante o projeto, foram criados dois materiais de apoio voltados aos professores e alunos, os quais são disponibilizados em endereço eletrônico<sup>4</sup>. Nesses materiais, estão contidos todos os detalhes da montagem e programação dos robôs, a programação dos cenários virtuais, montagem dos suportes necessários para a projeção das pistas, e roteiros para a programação e execução de cada desafio. Os materiais de apoio contêm os *links* para o *download* dos *softwares* necessários, instruções de como instalá-los e configurá-los, passo a passo da montagem dos robôs e sua programação, além das instruções sobre os desafios destinados aos alunos. Para os professores, os manuais contêm as equações e os conceitos de Física que são abordados na solução dos desafios propostos.



Como exemplo da aplicação do conteúdo de Cinemática, presente nos desafios, a Figura 3 mostra o cenário que envolve o conhecimento de velocidade média. Neste desafio, o aluno deve fazer o robô chegar até o final da pista, cumprindo a trajetória no tempo estipulado. Existem, na pista, as linhas intermediária e de chegada, um cronômetro, *timer*, que mostra o tempo restante até a respectiva linha desaparecer. Ao clicar no botão iniciar no computador, a linha de partida projetada na pista desaparece e é iniciada a contagem dos tempos, momento em que o robô deve começar a se mover. O objetivo é fazer o robô chegar à linha de chegada ao tempo de 15 segundos, porém ele deve fazer uma parada de 5 segundos na linha intermediária. Após os 15 segundos, a pista desaparece e o robô fica sem referência, podendo perder o desafio se o robô sair da pista. O desafio é perdido também caso o robô não fique os 5 segundos na linha intermediária.

Assim, neste primeiro desafio, a equipe de alunos deve medir os espaços entre as linhas de referência e programar a velocidade correta do robô para que ele chegue ao final cumprindo as exigências. Após o desafio, o professor pode aplicar um teste de conhecimento para os alunos responderem algumas questões sobre a velocidade média do robô do ponto de partida até a linha intermediária ou sobre velocidade média durante todo o percurso. Em outro momento, o professor pode trabalhar com os alunos a transferência de aprendizagem para outras situações do cotidiano, associando o mesmo problema com o trajeto real de um carro entre os semáforos de uma cidade.

Figura 3 – pista virtual de velocidade média



Fonte: Autoria Própria (2017).

Todos os cenários possuem uma escala ou alguma imagem que pode ser utilizada como referência para os competidores fazerem as medições das dimensões da pista. Este recurso é necessário, pois, durante os desafios, é necessário fazer conversões das unidades de medida utilizadas na programação do robô e na pista projetada, programada no *Construct 2*. A Figura 4 mostra uma escala presente no ambiente projetado. De acordo com a distância em que o projetor estiver do solo, as medidas do cenário mudam e é necessário realizar as medidas e conversões para os cálculos de velocidade e, quando necessário, de aceleração do robô.

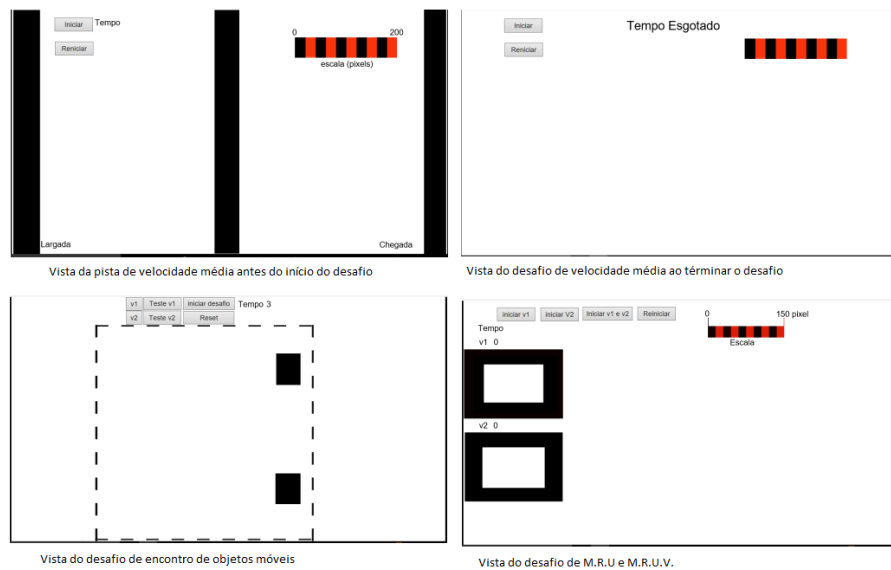
**Figura 4 – Pista virtual de velocidade média**



Fonte: Aatoria Própria (2017).

As pistas desenvolvidas foram testadas para verificar se os resultados obtidos eram compatíveis com as características do robô. Os testes foram realizados verificando se os sensores do robô faziam as leituras de mudança de luz, de acordo com o cenário, e se as ações eram realizadas de acordo com a programação. Nos testes os resultados para a detecção dos sensores e reação do robô foram satisfatórios. Para cada pista, há uma descrição do desafio e das questões a serem respondidas sobre os conceitos aplicados para cumprir a tarefa. Alguns desses *layouts* podem ser vistos na Figura 5 e todos os *layouts* estão disponibilizados, livremente, para uso em endereço eletrônico<sup>4</sup>.

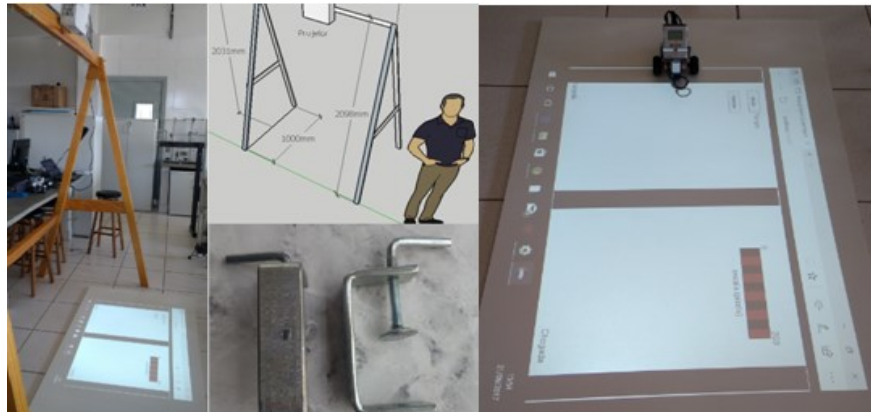
**Figura 5 – Pistas Virtuais de velocidade média, encontro de objetos móveis, MRU e MRUV**



Fonte: Aatoria Própria (2017).

A projeção dos ambientes virtuais foi feita utilizando um projetor comum, disponível na própria escola, fixado de forma a projetar as pistas no chão. Para essa tarefa, foi idealizado um suporte de fixação do projetor a uma altura em que a imagem projetada no solo tivesse dimensões adequadas para o movimento do robô, a visualização e a tomada de medida das pistas. A Figura 6 mostra a projeção de um dos cenários virtuais e detalhes do suporte, fixação e posicionamento do robô no início do desafio. O primeiro robô foi desenvolvido utilizando os manuais da *Legó Mindstorms* e a programação em Java. A programação completa deverá ser feita apenas na primeira vez em que o robô for utilizado. Após isso, será necessário mudar alguns parâmetros de controle dos motores.

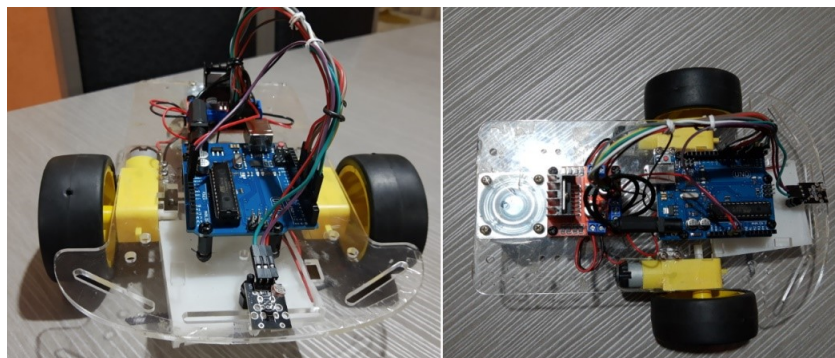
**Figura 6** – Visão geral da projeção vertical de cenários virtuais, suporte, dispositivo para fixação do projetor e robô Lego



Fonte: Autoria Própria (2018).

Após os testes com o robô desenvolvido utilizando o *kit Lego Mindstorm*, foi desenvolvido um segundo robô utilizando a plataforma Arduino e linguagem C, conforme mostra a Figura 7. Com isso, conseguiram-se os mesmos resultados do robô anterior, dentro do contexto dos desafios, porém mais acessíveis, por terem um custo menor. A plataforma Arduino também permite o reaproveitamento de componentes eletrônicos encontrados em sucata para a construção do sensor; também é possível reutilizar motores de corrente contínua, encontrados em brinquedos e outros dispositivos eletrônicos. A partir deste novo protótipo, foram acrescentadas aos manuais da proposta seções para contemplar a utilização em ambas as versões: *Lego Mindstorms* e plataforma Arduino. Assim, os interessados em aplicar a técnica têm duas opções de escolha. As pistas projetadas programadas no *software Construct 2* e *Construct 3* podem ser utilizadas em conjunto com o primeiro ou com o segundo robô, pois o conceito de leitura dos sensores é o mesmo, mudando apenas o método de montagem e programação do robô.

**Figura 7** – Robô desenvolvido utilizando a plataforma Arduino.



Fonte: Autoria Própria (2018).

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nos primeiros testes com o sensor de luminosidade, mesmo antes da montagem do robô, verificou-se a viabilidade de sua utilização fazendo a leitura direta da imagem projetada. Os sensores fazem a conversão das cores em uma escala de zero a cem, em que zero corresponde ao preto e cem, ao branco. Com

base nos testes realizados, foi possível criar uma técnica favorável de projeção e leitura das pistas.

As pistas criadas neste projeto utilizam o preto e branco como referência para o robô, porém é possível gerar pistas coloridas, tomando o cuidado com cores que possuem valores de leitura muito próximos, que podem confundir a leitura e identificação do sensor. Assim, dependendo das propriedades dos sensores utilizados, os robôs podem ser programados para terem reações diferentes para certas cores de linhas ou regiões projetadas na pista, ampliando as possibilidades de interações nos desafios.

Outro parâmetro a ser observado é altura de projeção. Nos testes realizados, a menor altura testada foi de 60 cm do chão. A maior altura testada foi de 2,5 m, mas nada impede a projeção em alturas maiores, pois dimensões maiores facilitam a tomada de medidas do cenário pelos estudantes e permitem maiores distâncias de deslocamento do robô. No laboratório em que foram realizados os testes, mesmo com a iluminação ambiente ligada, utilizando a configuração de maior brilho do projetor, não foram observados problemas de leitura do sensor do robô. O importante é que o projetor utilizado seja capaz de produzir as demarcações necessárias, da mesma maneira que produz uma imagem em uma tela de projeção no ambiente, mas, no caso, com a projeção direcionada para o chão.

Todos os cenários virtuais elaborados e disponibilizados possuem como público-alvo os estudantes do Ensino Médio, pois exigem para solução dos desafios cálculos compatíveis com o conteúdo de Física estudado por eles. Todas as informações necessárias para reproduzir a técnica estão detalhadas em um manual ilustrado com 103 páginas para os professores e um roteiro para os estudantes com 44 páginas composto pela descrição de seis desafios de Cinemática. Tanto esse manual como os cenários com desafios virtuais propostos se encontram no endereço eletrônico de divulgação desta pesquisa<sup>4</sup>.

Durante o desenvolvimento da pesquisa, notou-se que a viabilidade pode ser justificada pela funcionalidade do método pelo fato de transpor a equação para algo que tenha significado ao aluno e por acrescentar dinamismo às competições de Robótica. O material criado corrobora com a Teoria Construcionista de Seymour Papert, que fala sobre a necessidade em se relacionar os fatos para tornar a aprendizagem significativa (ROMÃO; SACHELLI, 2016). Há a corroboração, também, com a teoria que fala sobre a melhoria do aprendizado quando o indivíduo está envolvido no planejamento e na construção do objeto de estudo (FORNAZA, 2016). Pode ser verificada a conexão entre a teoria e o cotidiano do aluno, voltado à atividade para algo prático e que faça sentido para ele. Essas características também corroboram com a visão construcionista de Seymour Papert, conforme descreve Fornaza (2016).

A interdisciplinaridade está presente na proposta por envolver conhecimentos de Matemática, Física e Tecnologia. Outro aspecto favorável é que abordagens interdisciplinares com Robótica Educacional auxiliam a iniciação à pesquisa na Educação Básica. Como no caso relatado por Souza, Soares e Moraes (2014), em que, após o contato a robótica, um estudante do 2º ano do Ensino Médio desenvolveu o projeto “Etiquetador Braille”, um protótipo com sensores para auxiliar os portadores de deficiência visual na identificação de cores de roupas. Pombo (2005) reforça essa ideia ao citar que a interdisciplinaridade tem um lugar decisivo na criação científica.

Em resumo, a Robótica Aumentada, apresentada e discutida neste trabalho, pode ser utilizada em ambientes de ensino com enfoques na interdisciplinaridade e no Construcionismo, para atender diferentes objetivos de aprendizagem, além de ser um modelo viável para aplicação nas Olimpíadas Brasileiras de Robótica (OBR) e em demais competições do gênero.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os testes experimentais com o modelo de Robótica Aumentada desenvolvido tiveram resultados satisfatórios, pois, além de mostrarem a sua viabilidade tanto com robôs de *hardware* proprietário quanto aberto. Nessa fase, como pesquisa exploratória, cenários virtuais foram elaborados para auxiliar no ensino de conceitos de Cinemática. Com os manuais elaborados durante a pesquisa e disponibilizados para o público geral, é possível a programação de novos cenários virtuais para atender outros objetivos pedagógicos.

A programação do robô é livre na busca da solução dos desafios e pode ser feita de diversas maneiras para um mesmo desafio, atendendo a Teoria Construcionista de Seymour Papert. Na programação dos movimentos dos robôs, os estudantes colocam em prática conhecimentos como a conversões de medidas de distância, tempo e ângulos.

A montagem do robô não é uma tarefa difícil e pode ser realizada utilizando como apoio os manuais disponibilizados. A etapa de montagem deve ser apresentada aos estudantes como uma oportunidade de aprendizagem e introdução à Robótica. A programação do robô é um pouco mais complexa por envolver lógica e estruturas condicionais. Porém, é desafiante e instiga a aprendizagem dos estudantes. Os códigos, métodos e comandos utilizados na programação dos robôs podem ser facilmente entendidos com a leitura do manual para os professores e do roteiro para os estudantes, ambos disponibilizados em endereço eletrônico<sup>4</sup>.

O uso de pistas projetadas para imersão de robôs ultrapassa a utilização em sala de aula, podendo ser utilizada também nas tradicionais competições de robótica, em especial, a OBR. Isso possibilita inovar esse nicho, atualmente, em expansão nos meios escolares, abrindo espaço para demais estudos científicos na área da Robótica Educacional das suas possibilidades e limitações. Cabe ressaltar que, para o modelo discutido neste trabalho, foi definida a expressão Robótica Aumentada, com o objetivo de facilitar a referência de sistemas de robótica que possuam a inserção em tempo real, no mesmo ambiente do robô, de elementos interativos de origem ou controle virtual.

Nesta primeira fase da pesquisa, trabalhou-se com a Robótica Aumentada de interação unilateral, na qual apenas o robô interage com a pista. Para trabalhos futuros, sugere-se o estudo da viabilidade da interação bilateral, em que a programação do cenário virtual recebe os dados da posição e do estado do robô, podendo ser realizadas com sensores ou equipamentos de projeção interativa. Deste modo, com o rastreamento do robô, será possível projetar tapetes interativos que reagem aos movimentos realizados pelos robôs seguidores de linhas.

# Augmented robotics: Interaction between real robots and projected virtual scenes with application in Physics teaching

## ABSTRACT

This work reports a study on the combination of robotics with augmented reality in the teaching of Physics, based on a technique that uses the projection of virtual scenarios created to allow the immersion of real robots. This technique is a good alternative for the traditional methods using adhesive tapes in combination with line-following robots. The proposal was tested by performing experiments to build a robot system with sensors programmed to detect light from a vertical projection. A didactic material was designed using robots assembled with both Lego Mindstorms and Arduino platform for teaching kinematics content. The Arduino platform is an open-source alternative, of low cost and that presents the same results, making the use accessible to most schools. With Arduino it is also possible to reuse electronic scrap components. In addition to teaching Physics, the Brazilian Robotics Olympiad is a niche example that can also benefit from this study.

**KEYWORDS:** Teaching Physics. Robotics. Augmented Reality.



## NOTAS

1 LEGO. Disponível em: <http://www.lego.com/en-us/mindstorms>. Acesso em: 17 maio 2020.

2 OBR. Disponível em: <http://www.obr.org.br>. Acesso em: 10 maio 2020.

3 ARDUINO. Disponível em: <http://www.arduino.cc>. Acesso em: 10 maio 2020.

4 ROBÔTICA AUMENTADA. Manual para os professores e Roteiro para os estudantes. Disponível em: <https://robotica.fisicagames.com.br/>. Acesso em: 25 agosto 2020.

## REFERÊNCIAS

BENITTI, F. B. V. *et al.* Experimentação com Robótica Educativa no Ensino Médio: ambiente, atividades e resultados. *In: WORKSHOP DE INFORMÁTICA NA ESCOLA*, jul. 2009. **Anais [...]**. [S.l.]: [S. n.], 2009. p. 1811-1820.

CALEGARI, P.; SANTOS, T. N.; POZZEBON, E.; FRIGO, L. B. Utilizando a robótica para o ensino de lógica computacional com crianças do ensino fundamental. **RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p.1-10, 2015.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E. Física com Arduino para iniciantes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 4, p. 4503(1)-4503(9), 2011.

CHURCH, W. J. *et al.* Physics with robotics using LEGO MINDSTORMS in high school education. *In: ADVANCEMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SPRING SYMPOSIUM*, 2010, Stanford. **Anais [...]** Stanford, CA: [S.n.], 2010. p. 47-49.

FINO, C. N. Um software educativo que suporte uma construção de conhecimento em interação (com pares e professor). *In: SIMPÓSIO DE INVESTIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE EDUCATIVO*, 3., 1999, Évora. **Anais [...]** Évora: Universidade de Évora, 1999.

FRIEDRICH, R. V. *et al.* Proposta Metodológica para a Inserção ao Ensino de Lógica de Programação com Logo e Lego Mindstorms. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO*, 23., Rio de Janeiro, 26-30 nov. 2012. **Anais [...]** [S.l.]: SBIE, nov. 2012.

LEITE, B. S. M-Learning: o uso de dispositivos móveis como ferramenta didática no Ensino de Química. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 22, n. 03, p. 55-58, 2014.

MAGNUS, V. S.; GELLER, M. Um estudo sobre projetos de robótica nos anos finais do ensino fundamental. **RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p.1-10, 2016.

MAISONNETTE, R. **A utilização dos recursos informatizados a partir de uma relação inventiva com a máquina: a robótica educativa.** Proinfo – Programa Nacional de Informática na Educação, Curitiba, PR, 2002.

MAKHATAEVA, Z.; VAROL, H. Augmented reality for robotics: a review. **Robotics**, v. 9, n. 2, p. 21, 2020.

MELO, M. M. L. **Robótica e resolução de problemas: uma experiência com o sistema Lego Mindstorms no 12º ano.** 2009. 202 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Educativas) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2009.

MOREIRA, M. P. C. *et al.* Contribuições do Arduino no ensino de Física: uma revisão sistemática de publicações na área do ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 721-745, 2018.

OMIDSHAFIEI, S. *et al.* Measurable augmented reality for prototyping cyberphysical systems: A robotics platform to aid the hardware prototyping and performance testing of algorithms. **IEEE Control Systems Magazine**, v. 36, n. 6, p. 65-87, 2016.

PANDIAN, A.; BRUCE, K. Vision Guided Robotics Research Study. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND OPERATIONS MANAGEMENT, 9., Bangkok, 2019. **Proceedings[...]** Bangkok, Tailândia: IEOM Society International, 2019. p. 98-109.

PAPERT, S; HAREL, I. **Constructionism.** Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation, 1991.

POMBO, O. Interdisciplinaridade e integração dos saberes. **Liinc em Revista**, v. 1, n. 1, 2006.

ROMÃO, L. M.; SACHELLI, C. M. Uma Proposta Construtivista na Aprendizagem dos Conceitos da Física com o Auxílio da Robótica Educacional. *In*: WORKSHOP DE EDUCAÇÃO EM INFORMÁTICA - WEI Tchê, 3., 2009, Torres. **Anais[...]** Torres, RS: ULBRA, 2009.

SILVA, A. **RoboEduc: uma metodologia de aprendizado com robótica educacional.** 2009. 127 f. Tese (Doutorado em Automação e Sistemas; Engenharia de Computação; Telecomunicações) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SOUZA, A. R. J.; SOARES, M. P. A.; MORAES, B. V. Robótica Educacional e Ensino de Física: contextualização e Interdisciplinaridade na Educação Básica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 4., 2014. **Anais[...]** Ponta Grossa: UTFPR, 2014.

VEIT, E. A.; TEODORO, V. D. Modelagem no ensino: aprendizagem de física e os novos parâmetros curriculares nacionais para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, p. 87-96, 2002.

**Recebido:** 24 maio 2021.

**Aprovado:** 20 setembro 2021.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.3895/etr.v5n2.14323>.

**Como citar:**

VIANA, Gilberto de Oliveira; RIBEIRO, Rafael João; FIGUEIREDO, Gregory Vinicius Conon. Robótica aumentada: Interação entre robôs reais e cenários virtuais projetados com aplicação no ensino de Física. **Ens. Tecnol. R.**, Londrina, v. 5, n. 2, p. 108-124, jul./dez. 2021. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/etr/article/view/14323>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

Gilberto de Oliveira Viana

Av. Presidente Kennedy, 66, Centro, Telêmaco Borba, Paraná, Brasil.

**Direito autoral:**

Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

