

REALIDADE AUMENTADA APLICADA À MECÂNICA NEWTONIANA: PROPOSTA DE RECURSO EDUCACIONAL COMPUTACIONAL PARA A DISCIPLINA DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO

Ryan Marco Andrade dos Santos (IC) e Pollyana Coelho da Silva Notargiacomo (Orientador)

Apoio: PIBIC CNPq

RESUMO

O ensino da Física no Brasil passa por desafios que vão desde a falta de motivação dos alunos, de tempo para cumprir com os conteúdos ou metodologias voltadas à testagem e exames nacionais. Desta problemática e com a crescente popularização das aplicações móveis em Realidade Aumentada, tem-se como objetivo desenvolver um programa em Realidade Aumentada que auxilie no ensino da disciplina de Física no Ensino Médio com foco na Mecânica Clássica, assim como o desenho da instrução que o utilizará. Para alcançar o objetivo da pesquisa, tomou-se a decisão de quais tecnologias seriam utilizadas, houve validação dos *softwares* para o desenvolvimento da aplicação, seguido pelo desenvolvimento em si, que se baseou em diagramas da UML, e, por fim, foi-se desenhada a instrução que fará proveito do aplicativo. Utilizou-se da Unity3D e do SDK Vuforia para a criação da aplicação, que pode ser usada em dispositivos móveis Android. A idealização da instrução teve como base as teorias do comportamentalismo de Skinner, as técnicas demonstradas pelo Design Instrucional de Gagné e, para o conteúdo, tomou-se de guia a BNCC de 2018. Obteve-se um *software* para Realidade Aumentada que simula o Movimento Retilíneo Uniforme de um corpo singular, cuja velocidade, tempo de movimento e posição final podem ser alterados livremente. A instrução alcançada está descrita com base nas etapas do modelo Dick-Carey e servem de guia ao educador.

Palavras-chave: Realidade Aumentada. Design Instrucional. Física.

ABSTRACT

The teaching of Physics in Brazil faces challenges ranging from students' lack of motivation, time constraints to cover all the content, to methodologies focused on testing and national exams. From this issue, and with the growing popularity of mobile applications in Augmented Reality, the objective is to develop an Augmented Reality program that assists in teaching Physics in high school, with a focus on Classical Mechanics, as well as the design of the instruction that will utilize it. To achieve the research objective, the decision was made regarding which technologies would be used, followed by software validation for application development, the development itself, which was based on UML diagrams, and, finally, the instruction that will leverage the application was designed. Unity3D and the Vuforia SDK were used to create the application, which can be used on Android mobile devices. The instructional

design was based on Skinner's behaviorism theories, instructional design techniques demonstrated by Gagné, and for content guidance, the 2018 BNCC was used. An Augmented Reality software was obtained that simulates the Uniform Rectilinear Motion of a single object, where velocity, movement duration, and final position can be freely adjusted. The achieved instruction is described based on the Dick-Carey model's steps and serves as a guide for educators.

Keywords: Augmented Reality. Instructional Design. Physics.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com dados do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep) encontrados no Relatório Pedagógico Enem 2011 e 2012 (BRASIL, 2015), a área do conhecimento que detém menor média em 2011 e 2012 é a de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (formada por Física, Química e Biologia).

Segundo Moreira (2018), a reformulação curricular ocasionou em uma redução do número de aulas semanais da disciplina de Física no Ensino Médio. A isso, segundo o autor, se acrescenta a questão da relevância das aulas de laboratório que, se encontram num grau de patamar inferior em relação ao treino para provas (denominado de “*teaching for testing*”), acarretando numa ausência de significado para os estudantes e na configuração de um ambiente educacional tradicional e expositivo, voltado exclusivamente para a resolução de exercícios mecânicos com foco no exame vestibular. Torna-se necessário “*dar atenção à didática específica, à transferência didática, a como abordar a Física de modo a despertar o interesse, a intencionalidade, a predisposição dos alunos, sem os quais a aprendizagem não será significativa*” (MOREIRA, 2018, p. 76).

A isto, soma-se que deficiências no ensino agravam índices de evasão escolar e repetência, sobretudo na área de ciências exatas, na qual encontra-se a disciplina de Física. A desmotivação gerada pela não compreensão do conteúdo tende a crescer devido ao caráter contínuo da disciplina de Física, que é cumulativa. Logo, uma solução é o professor iniciar as exposições a partir de pontos já dominados pelos alunos, além de realizar avaliações contínuas para detectar determinados estudantes que não estão compreendendo o conteúdo, e, assim, agir de acordo com suas dificuldades (OLIVEIRA, ANDRADE, SIQUEIRA, 2018). Por isso, é necessário desenvolver elementos de atratividade no ensino de Física que fundamentam e explicam diversos fenômenos, de maneira a disponibilizar recursos didáticos que possam suportar aulas dinâmicas, implicando inclusive, na ampliação do interesse dos estudantes na área (SILVA et al., 2018).

Visto que a pesquisa básica não é comumente explorada em sala de aula, uma alternativa proposta por Moreira (2018) é a de implementar uma estrutura para trabalhar a abordagem da pesquisa aplicada voltada ao desenvolvimento de material instrucional, colaborando para a melhoria do Ensino de Física numa perspectiva que considere um grau de complexidade incremental e relevantes para o contexto dos estudantes. Portanto, conclui-se que o ensino de Física deveria trabalhar e despertar a habilidade de questionamento dos estudantes. Todavia, os alunos têm uma visão negativa da disciplina de Física, cujas teorias se mostram distantes do cotidiano durante as aulas e mais próximas da Matemática, gerando uma dificuldade na compreensão de conceitos. Para solucionar esta questão, uma opção é o

uso de outros instrumentos pedagógicos, como a experimentação (BENFÍCA, PRATES, 2020).

Laboratórios com “*experimentos relacionados à Física no Ensino Médio têm por objetivo testar teorias e oportunizar aos alunos a habilidade de observação, abstração, análise e interpretação dos fenômenos*” (BENFÍCA, PRATES, 2020, p. 33689). Contudo, muitas escolas carecem de laboratórios ou materiais necessários para experimentos, logo, uma das opções é que estas experimentações sejam feitas em laboratórios virtuais, os quais podem, inclusive, permitir a utilização de ferramentas e recursos inacessíveis em laboratórios físicos (MOREIRA, 2018).

Dado o que foi colocado sobre a experimentação, cabe destacar a proposta pedagógica contemporânea para a integração do computador, Internet e outras mídias na educação: o Construcionismo. Este foi proposto por Seymour Papert e preconiza que o computador deve ser usado como ferramenta para construção/reflexão de ideias, funcionando como um mediador para o desenvolvimento e teste de hipóteses (PAPERT, 2008). O aluno se torna, portanto, o centro do processo de aprendizagem, implicando em repensar o papel do professor. Isso pode ser feito por meio da integração da tecnologia com o espaço educacional numa perspectiva motivacional a partir da utilização de tecnologias como a Realidade Virtual (RV), a Realidade Aumentada (RA) e os Jogos Digitais, por “*propiciarem uma metáfora lúdica*” (BARBATSIS et al., 2011). Outro fator importante é a atual acessibilidade e portabilidade de dispositivos móveis, que permitem uma aprendizagem sem uma delimitação espaço-temporal fixa (CALDAS et al., 2019).

Assim, com o objetivo de desenvolver um Recurso Educacional voltado ao ensino da Mecânica Newtoniana no Ensino Médio, foi feito um levantamento prévio dos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio - PCN+ Ensino Médio (BRASIL, 2002) e Base Nacional Comum Curricular - BNCC (BRASIL 2018). Destaca-se que o PCN+ Ensino Médio (BRASIL, 2002) apresenta uma reforma curricular cuja meta principal era delimitar o E.M. como etapa de conclusão da Educação Básica, e não mais como ciclo preparatório para o exercício profissional ou ensino superior. Junta-se essa ideia à questão de ampliar a interligação das áreas de conhecimento, resultando na apresentação da área denominada Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, que englobava a Física, Química, Biologia e Matemática. Posteriormente, a BNCC (BRASIL, 2018) institui uma referência brasileira para construção unificada dos currículos por todo o país, alinhando Município, Estado e Federação, o que busca estabelecer o conjunto de “competências gerais” que norteiam as “aprendizagens essenciais” para a Educação Básica. Estas levaram a retirada da disciplina de Matemática da área de Ciências da Natureza.

Desta contextualização, têm-se as competências e habilidades presentes no Quadro 1, selecionadas da BNCC (BRASIL, 2018):

Quadro 1. Competências e Habilidades da BNCC (BRASIL, 2018) associadas ao Tópico de Mecânica Clássica da Disciplina de Física do Ensino Médio.

COMPETÊNCIA	DESCRIÇÃO	HABILIDADE
Competência Específica 1	Envolve, sob a ótica da matéria e energia (especialmente o aspecto de conservação de energia e quantidade de movimento), a compreensão e análise de fenômenos naturais, assim como de processos tecnológicos. Esta competência pode ser trabalhada por meio de dispositivos e aplicações digitais para a construção de simulações, representações ou mesmo protótipos.	(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas" (BRASIL, 2018, p. 555).
Competência Específica 3	Baseia-se na investigação de situações problemas e avaliação de aplicações e suas implicações, utilizando-se de procedimentos próprios das Ciências da Natureza, além do compartilhamento do conhecimento adquirido de forma plural, ética e responsável. Nesta competência, o diálogo e debate fundamentado acerca da tecnologia e seus impactos é tema central e busca o "aguçamento da curiosidade sobre o mundo, a construção e avaliação de hipóteses, a investigação de situações-problema, a experimentação com coleta e análise de dados mais aprimorados, como também se tornar mais autônomos no uso da linguagem científica e na comunicação desse conhecimento" (BRASIL, 2018, p. 558).	"(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica" (BRASIL, 2018, p. 559)

Fonte: elaborado pelo autor, adaptado de BRASIL (2018).

Exposto isto, propõe-se uma forma de integrar as competências 1 e 3, mais especificamente as habilidades expressas no Quadro 1, acima, em um recurso educacional com Realidade Aumentada que incentiva o raciocínio dedutivo e analítico por meio do uso de elementos visuais manipuláveis, ao mesmo tempo que instigue o trabalho colaborativo entre os alunos. Para isso, faz-se necessário explorar não só a BNCC, como os demais elementos envolvidos no desenvolvimento de aplicações com RVA, sendo que tais aspectos são discutidos a seguir, no tópico 2.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A BNCC, com o objetivo de democratizar o acesso à educação gratuita e de qualidade, institui as habilidades e competências que os estudantes do Ensino Básico devem possuir (ZANATTA, NEVES, 2016). Uma de suas quatro áreas gerais é a de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, a qual deve apresentar o conteúdo histórico e sociocultural, elementos conceituais e subsídios para o exercício investigativo, além de linguagens específicas das

Ciências da Natureza; composta por Física, Química e Biologia. Contudo, a BNCC possui uma visão positivista do fazer científico que é prejudicial ao ensino de Física caso este se baseie somente nisso, uma vez que ela não incorpora na sua descrição o anarquismo epistemológico de Feyrabend (ZANATTA, NEVES, 2016). Conclui-se que o ensino da Física, com o objetivo de ter o caráter do fazer científico não puramente positivista, deve apresentar outras questões senão as técnicas; como criatividade, o acaso e o contexto histórico.

O que se vê é que a Física tem sido abordada na escola como um treinamento pelo qual o aluno deve passar como preparo para os testes e exames nacionais e internacionais. Esta testagem compulsória culmina em uma *“visão comportamentalista, mercadológica e massificadora”* da educação (MOREIRA, 2018, p. 75), o que torna todo o processo de aprendizado um *“treinamento para respostas de curto prazo”* (p. 75) conteudista, memorístico e mecanizado (ZANATTA, NEVES, 2016, p. 7), de forma que *“o ensino é obrigação e é conduzido de um modo tão tradicional que é pior do que ineficiente, é anticientífico”* (MOREIRA, 2018, p. 75). Estes pontos estão em desacordo com a Competência Específica 3 da BNCC de 2018 do Ensino de Física, que se norteia por um diálogo fundamentado acerca da tecnologia e seus impactos e tenta despertar no jovem o *“aguçamento da curiosidade sobre o mundo, a construção e avaliação de hipóteses, a investigação de situações-problema, a experimentação com coleta e análise de dados mais aprimorados, como também se tornar mais autônomos no uso da linguagem científica e na comunicação desse conhecimento”* (BRASIL, 2018, p. 558).

Porém, o observado demonstra que os alunos não distinguem Física de Matemática, detém uma crescente indisciplina e ausência de uma aprendizagem relacional, ou seja, conectar diferentes conhecimentos e os assimilar a contextos complexos (ZANATTA, NEVES, 2016, p. 8). Nesse sistema voltado à testagem, as respostas são dadas pelos professores e se padronizam, deixando o aluno refém de um processo acrítico voltado para a resolução de exercícios mecânicos com foco no exame vestibular. Uma solução possível é a adoção de situações-problema que dão sentido aos conceitos, cuja conceitualização está no âmago do desenvolvimento cognitivo (VERGNAUD, 1990); no entanto, como indica Moreira (2018), há um descarte do ensino de Física na Educação Básica, cuja carga horária é limitada, assim impossibilitando o aprofundamento e uso adequado das técnicas de contextualização. Assim, a aplicação de metodologias e instruções a todas as áreas definidas no escopo da Educação Básica do ensino de Física se torna insustentável devido à falta de tempo para a definição dos reforçadores idealizados por Skinner (1972), requerendo um balanço dos conteúdos que serão desenvolvidos ou descartados do devido aprofundamento.

Com base na Lei do Efeito (SKINNER, 1972), durante a definição do plano pedagógico, devem ser definidas uma série de consequências especiais chamadas de reforçadores, pois,

uma vez estruturados, as técnicas permitem que o comportamento do aluno seja modelado da maneira adequada, o que pode evitar a frustração de enxergar a Física com o olhar somente matemático. E, contrariando o modelo de ensino atual, estes reforçadores não devem instigar reações de ansiedade e tédio, resultantes do treinamento para testagem e de uma visão reducionista errônea de um apanhado de fórmulas matemáticas, estáticas e descontextualizadas (MOREIRA, 2018). Isto se comprova pelo resultado obtido pelo estudo de Oliveira, Andrade, Siqueira (2018), no qual alunos justificam seu gosto ou desgosto pela Física pela presença da matemática associada ao conteúdo.

Uma das razões para este descarte, além da visão positivista que a BNCC introduziu ao ensino de Ciências nas escolas (ZANATTA, NEVES, 2016), é a concepção prejudicial de que a instrução a ser dada na escola se define por facilitar o conteúdo, diferentemente do que propõe Gagné, Briggs e Wager (1992). O que se vê é a “tranquilização” do conteúdo e da linguagem, evitando-se termos científicos e/ou notações matemáticas sucintas com o objetivo de se adaptar ao “perfil” do aluno; um movimento contrário do que seria ideal (SKINNER, 1972).

Assim, o Design Instrucional se faz necessário, pois ele se preocupa em modelar e planejar quais estímulos o aprendiz receberá, de forma a facilitar o aprendizado; os quais podem ser combinados e associados à reforçadores. Tais estímulos são chamados de eventos e são divididos em eventos internos e externos, compondo assim uma instrução. O primeiro diz respeito à memória – associações com conhecimentos prévios ou simplesmente compreender uma fala são exemplos de eventos internos – enquanto o segundo corresponde aos estímulos que o aprendiz está recebendo, seja a metodologia usada no aprendizado ou os livros que ele está lendo, por exemplo (GAGNÉ, BRIGGS, WAGER, 1992).

Somado à teoria do Design Instrucional, pode-se usar um subsunçor (AUSUBEL et al., 1980) para a fixação do conhecimento, cuja introdução precisa ter princípio em outros conhecimentos já formados na cognição do aluno. Tem-se então, que, a partir de saberes advindo da memória de longo prazo, se estimula o aluno a produzir respostas ao ambiente, com o objetivo de assimilar novas informações à sua memória de longo prazo, como é demonstrado pelo Diagrama de Aprendizagem Interna de Gagné, Briggs e Wager (1992). Portanto, o professor deve iniciar o diálogo a partir de pontos já dominados pelos alunos e os expandir, de maneira que os conteúdos sejam compreendidos e integrados mais eficazmente pelos discentes.

É preciso também se atentar ao engajamento gerado pela metodologia escolhida e empregada em sala de aula, que, na disciplina de Física, é incrementado pelo uso de aulas mais dinâmicas, práticas e diversificadas. Esta ideia é corroborada pelos resultados obtidos

por Oliveira, Andrade, Siqueira (2018, p. 18), que aponta a necessidade de “*ter cautela com tratamentos matemáticos dados aos fenômenos físicos, pois o seu protagonismo tem contribuído para inibir a motivação à aprendizagem nas aulas de Física e são os próprios alunos que alertam para o uso excessivo, dado pelo professor, de questões com ênfase em cálculos.*” Além disso, técnicas e estratégias práticas, a exemplo de aulas em laboratórios, possuem um impacto positivo acentuado na motivação dos alunos e, por isso, é recomendável abordar os conceitos com materiais lúdicos e historiográficos, e pensar nos exercícios a partir de seus princípios físicos, em contrapartida à mera aplicação de fórmulas (OLIVEIRA, ANDRADE, SIQUEIRA, 2018).

Neste sentido, a Realidade Aumentada (RA) aplicada às metodologias educacionais pode desempenhar um papel importante ao ser incorporada como uma ferramenta para motivar e engajar os alunos nas atividades, uma vez que sua versatilidade e adaptabilidade amplia as possibilidades de aprendizado dos alunos (REZENDE et al., 2021; AVELEYRA, RACERO, TOBA, 2018), principalmente àqueles mais visuais (BARBATSIS et al., 2011), cuja dificuldade está em transpor os conceitos teórico-matemáticos para o ambiente real.

Tal tecnologia “*consiste em um conjunto de dispositivos que adicionam informação virtual à informação física existente, isso significa adicionar elementos virtuais sintéticos à realidade*” (AVELEYRA, RACERO, TOBA, 2018, p. 1). Azuma et al. (2001) definem que a RA detém três características principais: combinar objetos reais e virtuais no mesmo ambiente real; operar iterativamente em tempo real; e alinhar os objetos entre si, isto é, a RA utiliza o mundo real de base para a experiência do virtual (FORTE, KIRNER, 2009). E, diferentemente da Realidade Virtual, em que a interação é inteiramente no mundo digital, na RA as interações são feitas no mundo real pela integração dos objetos sintéticos no ambiente (SILVA, 2013), o que pode ser atingido pelo uso de dois componentes principais: câmera e *software*. O primeiro adquire a informação do ambiente real e transmite para o *software* de RA que utilizará estes dados reais para realizar a computação responsável por detectar e associar precisamente elementos reais aos virtuais, por meio de técnicas de detecção de gatilhos artificiais e visão computacional (AVELEYRA, RACERO, TOBA, 2018).

Dito isso, o potencial inerente a RA de criar objetos digitais e imergi-los no mundo real, permite a criação de diferentes aplicações voltadas para diversos temas em diferentes técnicas de ensino-aprendizagem, como é demonstrado pelas revisões feitas por Wulandari, Wibowo, Astra (2021) e Rezende et al. (2021). Estas apontam os tópicos mais abordados por trabalhos acadêmicos envolvendo a RA aplicada ao ensino de Física no Ensino Médio como: Óptica, Mecânica, Fluidos, Temperatura e Calor, Átomos, Eletricidade e Magnetismo, e Movimento Harmônico Simples; havendo carência de pesquisas que abordam a Teoria Cinética dos Gases (WULANDARI, WIBOWO, ASTRA, 2021). Dessa forma, a RA é uma

tecnologia emergente que tem o potencial de auxiliar no processo educacional, tornando-o mais atrativo aos alunos.

Assim, é possível correlacionar e adaptar aplicações e sistemas em RA com as de um Objeto de Aprendizagem (OA), o qual pode se caracterizar por ter:

- **Acessibilidade:** pelos metadados marcados ao OA, ele deve ser armazenado e referenciado em uma base de dados e acessado por qualquer um de acordo com seus objetivos;
- **Reusabilidade:** uma vez definido, deve ser possível utilizá-lo em diferentes contextos instrucionais;
- **Interoperabilidade:** devem ser independentes dos meios de entrega e sistemas de gerenciamento de conhecimento (PACHECO et al., 2018).

Em outras palavras, são “*entidades digitais ou analógicas de qualquer natureza, as quais têm as características de possibilidade de reuso durante o processo de aprendizado suportado por tecnologias*” (PACHECO et al., 2018, p. 6).

Ao aproximar estas definições ao contexto da Realidade Aumentada, é possível notar sua aplicabilidade na educação por permitir uma interface amigável e versátil para manipulação direta de objetos independentemente do uso de controles ou periféricos. Nesta interface, os elementos em cena podem ser vistos - possivelmente até manipulados - por diferentes pontos de vista, o que contribui para que um problema se torne mais simples e fácil de resolver (BARBATSIS et al., 2011). Neste âmbito, portanto, um OA em RA “*conecta o conteúdo, o contexto e o estudante*” (PACHECO et al., 2018, p. 6), permitindo ao aluno realizar/perceber modificações no ambiente de aprendizado conforme a situação apresentada em tempo real.

De todo modo, é preciso haver um plano pedagógico que transcenda e não se limite somente ao escopo da aplicação, afinal, ela é apenas uma ferramenta (RADU, 2014). Leva-se em conta que o aluno não aprende apenas ao fazer. Por mais importante que a execução de um determinado comportamento seja, ela por si só não pode garantir que tenha havido um ganho de aprendizagem, assim como somente a utilização da experimentação. Sendo necessário, portanto, o conjunto dos dois: “[...] *na qual ‘experiência’ representa estímulos ou inputs e ‘fazer’ representa respostas ou outputs.*” (SKINNER, 1972, p. 5-6). Isto é, pela observação gerada da experimentação, o aluno é capaz de criar suas próprias hipóteses e teorias para explicar o que foi encontrado.

Benfíca e Prates (2020, p. 4) afirmam que um dos objetivos da experimentação é a “*comprovação de conhecimentos teoricamente abordados*”, ou seja, as aulas experimentais

devem vir posteriormente às aulas teóricas que formam a base para o que será abordado pela prática em laboratório. Contudo, o OA aqui apresentado busca ser utilizado para exemplificar também situações teóricas e facilitar a visualização deste conteúdo, idealiza-se então uma metamorfose entre a prática e a teoria.

Todavia, deve-se se atentar a esta abordagem, pois ela pode se tornar prejudicial tanto para os professores quanto para os alunos. Em um cenário no qual já se conhece a teoria (condição que para o professor sempre será verdadeira), cria-se um ciclo vicioso descrito pela alteração ou manipulação dos dados experimentais para que se adaptem à teoria; no caso do aluno, com o objetivo de se garantir a nota, enquanto para o professor o objetivo é evitar inseguranças a respeito de determinado experimento, e, infeliz e novamente, o resultado se torna mais importante que o processo (BORGES, 2002). Voltamos, logo, ao ponto caótico e ao acaso de como a ciência é feita; o professor e o aluno devem tolerar os erros e estarem abertos a isso durante o processo de aprendizagem e experimentação.

Entende-se, desta análise do ambiente teórico, que há um paralelo com a experimentação nos laboratórios de física em que o professor não deveria examinar os alunos somente em seu trabalho final ao seguir um roteiro engessado e pré-determinado; a análise do comportamento do aluno durante a realização das atividades laboratoriais e sua criatividade em resolver os problemas e estudar os fenômenos são exemplos de critérios que podem vir a serem explorados. A “leitura diferente” pode se configurar pela liberdade de o aluno poder escolher o caminho até a resposta correta de acordo com seus sentidos e entendimentos, sempre apoiado pelas teorias estudadas previamente na sala de aula, e, caso não a alcance, possa ter a chance de analisar seus dados obtidos e o caminho percorrido em busca do entendimento do porquê e onde está o erro. Sugere-se o uso de variados critérios de avaliação, principalmente no que diz respeito às atividades em que é feito uso da aplicação, não somente o resultado adquirido pelo aluno. O processo investigativo deve ser avaliado, de forma a evitar a busca obsessiva pela nota evidenciada (BORGES, 2002; MOREIRA, 2018).

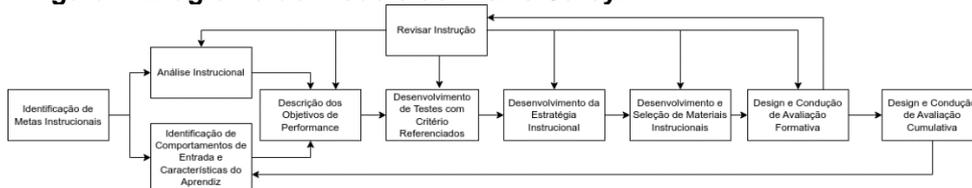
Outro ponto a se atentar é na carga cognitiva exigida pelo uso de RA na sala de aula, seja por questões tecnológicas, de usabilidade ou praticidade, por esta ser uma tecnologia disruptiva no contexto tradicional de ensino, como apontam Buchner, Buntins e Kerres (2021). Ainda há uma divergência acerca da opinião sobre seu impacto na carga cognitiva, ambos os lados se justificam empiricamente pela Teoria de Carga Cognitiva e Teoria do Aprendizado Multimídia (BUCHNER, BUNTINS, KERRES, 2021), contudo, o estudo demonstrou que nas categorias montagem assistida, assistência de tarefas, resolução colaborativa de problemas, treinamento de habilidades espaciais e feedback a RA manteve o nível de carga cognitiva abaixo ou equivalente aos casos que não utilizam RA, isto resultando numa melhora de performance.

Desta forma, também é notável que a RA pode prender a atenção do aprendiz mais facilmente resultando numa melhora do aprendizado. E, para atividades colaborativas, Buchner, Buntins e Kerres (2021) observaram de fato uma melhora de performance dos estudantes, pois a carga cognitiva é dividida entre os participantes; porém apenas um estudo apresentou o trabalho colaborativo, havendo ainda uma margem de erro. Ainda assim, diversas habilidades interpessoais podem ser desenvolvidas e há evidências de impactos positivos na aprendizagem como um todo ao utilizar a RA na educação básica, embora exija preparo dos professores, recursos e mentalidade (REZENDE et al., 2021), o que pode ser traduzido para novas formas de pensar e fazer, disponibilidade dos próprios recursos tecnológicos e a disposição de aprender por novos métodos.

A RA, desta forma, é entendida como uma tecnologia emergente na área educacional, ao dispor e incentivar um ambiente com estratégias didáticas aprimoradas baseadas em simulações e manipulações de objetos sintéticos, ela permite um uso mais enriquecedor da aprendizagem baseada em problemas e aprendizagem por descoberta, promovendo a autoconfiança e motivação estudantil. O registro que a RA impõe no mundo físico por meio de sua interface (AZUMA et al., 2001) permite um retorno imediato para os alunos enquanto realizam uma atividade de descoberta, por exemplo, o que ajuda na compreensão dos conceitos físicos e desenvolve o pensamento crítico dos estudantes, além de manter o interesse e desejo de alcançar o melhor resultado da tarefa dada (SKINNER, 1972). Ademais, as características da Realidade Aumentada nos possibilitam exercitar diferentes conceitos em um contexto seguro com modelos dinâmicos (KAUFMAN, SAUV, 2010) sem custos adicionais senão o de um smartphone (AZUMA, 2016).

Detalhando o Design Instrucional, o modelo de Dick e Carey (1990) descrito por Gagné, Briggs e Wager (1992, p. 21) apresenta uma forma sistemática (Figura 1) de pensar o planejamento de instruções, por ser “*um compilado de procedimentos e recursos para promover o aprendizado*” (GAGNÉ, BRIGGS, WAGER, 1992, p. 20). Segundo o próprio autor, as instruções devem ser pensadas de forma sistemática ao considerar o fato de que elas podem ser tidas a curto e/ou longo prazo.

Figura 1. Diagrama do modelo de Dick e Carey.



Fonte: GAGNÉ, BRIGGS, WAGER, 1992, p. 21.

No primeiro estágio é preciso definir as metas instrucionais que serão refinadas nos estágios 2 (análise instrucional) e 3 (identificação de comportamentos de entrada e

características do aprendiz) que ocorrem simultaneamente. Na análise instrucional são determinadas as habilidades envolvidas em alcançar a meta definida anteriormente a partir de determinadas técnicas, como por exemplo análise de tarefas. Já no estágio 3 são determinadas as habilidades já conhecidas por alguns estudantes, com o objetivo de saber por onde começar a instrução, visto que alguns indivíduos sabem mais que outros e as instruções podem ser redundantes a eles. Para o estágio 4, as metas e necessidades são traduzidos em objetivos de performance que “são *declarações de comportamentos observáveis e/ou mensuráveis*” (GAGNÉ, BRIGGS, WAGER, 1992, p. 26). No estágio 5 é verificado o ganho de habilidade, assim como a falta de habilidades necessárias para adquirir um novo conhecimento, para que no Desenvolvimento da Estratégia Instrucional haja um plano para assistir os estudantes com cada objetivo de performance. Em seguida são desenvolvidos e selecionados os materiais utilizados para a instrução, sendo impressos ou outras mídias. Ao fim, é feita uma avaliação formativa que servirá para providenciar dados que ajudarão a revisar e melhorar os materiais instrucionais.

Ao generalizar as etapas do modelo de Dick-Carey obtém-se o modelo ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation and Evaluation*), que é um modelo cíclico e contínuo, de forma a repensar a instrução constantemente e a adaptando conforme é aplicada, sempre dando ênfase ao estudante (PETERSON, 2003). Seus cinco estágios definem seu nome e se descrevem como: Análise – determina-se as necessidades dos estudantes com base no que já sabem e o que deverão saber ao final do processo de ensino, o conteúdo do curso e, por fim, o que deve ser aprendido com a instrução; Design – utiliza-se os dados obtidos na primeira fase para identificar os objetivos, como eles serão alcançados, as estratégias instrucionais que serão empregadas e as mídias e métodos que serão mais efetivos; Desenvolvimento – é produzido ou selecionado o material a ser utilizado com base nas últimas duas etapas do processo, de forma a ser possível determinar se os estudantes aprenderão com o material antes da fase de implementação; Implementação – a instrução é aplicada, junto não somente do designer, mas junto ao instrutor também; Avaliação – esta fase pode ser aplicada a qualquer momento do processo determinado pelo modelo, sendo preferível que a cada etapa haja um momento de avaliação do que foi feito (PETERSON, 2003).

3. METODOLOGIA

Conforme destacado anteriormente, a RA por visão direta por vídeo é aquela que o usuário percebe os objetos virtuais por meio de uma interface que receberá em tempo real imagens de uma câmera e exibirá os objetos 3D de acordo com a cena filmada; enquanto a RA por visão direta óptica é aquela que não necessita da presença de uma interface entre o usuário e os objetos virtuais (FIOLHAIS et al., 2004). Aqui será feito o uso da RA por visão

direta por vídeo, uma vez que cada aluno ou grupo de alunos realizará seus próprios experimentos em dispositivos diferentes e, por conseguinte, verão cenas e objetos diferentes. Este tipo de RA faz uso de técnicas de visão computacional (SPENCER; HOSKERE; NARAZAKI, 2019) para entender seu ambiente e posicionar os objetos de acordo com a cena apresentada e seus marcadores em tempo real.

Contudo, a dependência na computação visual traz algumas desvantagens para a aplicação, como aponta Fiolhais et al. (2004). Os objetos são visíveis somente quando os marcadores estão presentes em cena; o tamanho e movimento das figuras virtuais são limitados ao enquadramento da câmera, o que leva a outra limitação relacionada ao espaço disponível para a visualização dos objetos e da cena; o detalhamento dos padrões a serem identificados pode prejudicar o reconhecimento destes, portanto, quanto mais simples forem os padrões que servirão de marcadores, melhor para a experiência final da aplicação; e, por último, a iluminação do ambiente pode afetar como estes padrões serão percebidos pelo computador, desta forma, o ideal é escolher superfícies não reflexivas para hospedarem os marcadores.

Dito isto, levou-se em conta duas tecnologias diferentes para criação de aplicações em RA: Vuforia e ARToolKitX.

O primeiro é um SDK (*Software Development Kit*) para *smartphones* ou outros dispositivos móveis que permitem a execução de aplicações em RA por visão direta por vídeo que se utiliza de visão computacional. O Vuforia permite posicionar objetos virtuais 3D com uma orientação a partir de um objeto real chamado de *target* e suas limitações (além das já mencionadas que são inerentes a este tipo de RA) se resumem à incapacidade de analisar por completo a cena e identificar todos os objetos reais ali presentes, dada as limitações da CPU e GPU dos aparelhos usados (IBAÑEZ, FIGUERAS, 2013). Ressalta-se que este SDK oferece uma API para as linguagens C++, Java e .Net, a partir de extensões da Unity3D.

Já o ARToolKit é uma biblioteca para a linguagem C/C++ e Java ajudam a solucionar alguns dos problemas mais comuns da RA, como registro fotométrico e geométrico, isto é, alinhar a posição do ambiente virtual com o ambiente real de forma a aproximar as aparências dos objetos virtuais à dos reais (ARTOOLKITX, 2018).

Dentre os SDKs, o Vuforia se mostrou uma ferramenta mais robusta para a criação deste OA, devido à sua compatibilidade com o ambiente móvel e sua possível integração com a Unity3D (RIBEIRO, CALDAS, MACEDO, 2021). Além disso, o Vuforia possui uma documentação mais extensa e detalhada do que o ARToolKitX, visto que também é o SDK mais utilizado em trabalhos acadêmicos (PELLENS, HOUNSELL, SILVA, 2017) e na indústria de experiências em 3D.

Foi-se decidido também fazer o uso de um motor gráfico que auxiliará na construção do simulador. Um motor gráfico (ou *engine*) inclui módulos que lidam com a entrada, saída (imagens 3D, 2D e sons), e física/dinâmica genérica para mundos de jogos (LEWIS, JACOBSON, 2002), ou seja, a *engine* agiliza parte do trabalho de criação de um jogo ou simulador ao lidar com questões mais baixo nível, permitindo chamá-la de middleware e sendo representada pelo diagrama da Figura 2. O motor gráfico utilizado foi a Unity3D devido à sua integração com o Vuforia e ao uso das linguagens C# e JavaScript, ao suporte ao Android e iOS e à disponibilização de um motor de física já desenvolvido (PALMEIRA, NOTARGIACOMO, 2018).

Figura 2. Funções atribuídas à uma Game Engine.



Fonte: Unity Technologies, acesso abril de 2023

O projeto, apelidado de *FisiStone*, se iniciou por uma modelagem do sistema ao se utilizar de diagramas da UML para facilitar a observação do sistema a ser desenvolvido e esboçar as ideias iniciais de maneira gráfica. Para isto, utilizou-se de um Diagrama de Caso de Uso e um Diagrama de Atividades. O primeiro descreve como os casos de uso se correlacionam com um ator no sistema, os quais, também, captam os requisitos funcionais do *software* a ser criado (FOWLER, 2014). O segundo se define por uma “*técnica para descrever a lógica de procedimento, processo de negócio e fluxo de trabalho*” (FOWLER, 2014, p. 118). Após a modelagem do sistema, se iniciou a fase de implementação do protótipo em ambiente Unity.

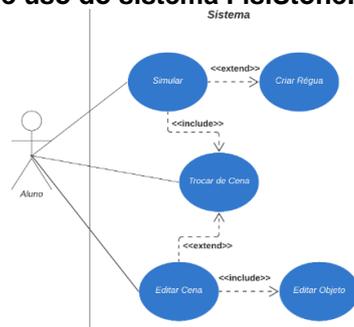
O design instrucional foi feito posteriormente à modelagem da aplicação e em paralelo ao seu desenvolvimento. Adotou-se esta estratégia devido à limitação de tempo e, com uma modelagem mínima, é possível imaginar o que será possível com o simulador. As técnicas empregadas para a criação de uma instrução aplicada ao projeto *FisiStone* segue as diretrizes descritas por Gagné, Briggs e Wager (1992), um fluxo de trabalho semelhante ao proposto por Dick e Carey (GAGNÉ, BRIGGS, WAGER, 1992), assim como utilização dos capítulos que discorrem sobre o Movimento no livro de Feynman (1963).

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Ao final da pesquisa, se obteve um protótipo funcional com uma das cenas planejadas, as quais serão detalhadas mais à frente, e o desenho de uma instrução para a condução de algumas aulas acerca do conceito de velocidade e como ela é medida.

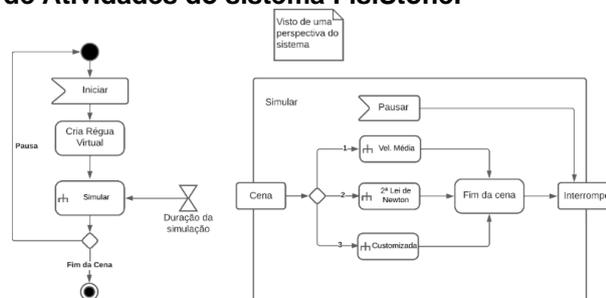
Uma abordagem direta de produção do *software* foi tomada a princípio, o que se mostrou ineficiente rapidamente, uma vez que o funcionamento de um simulador pode ser extremamente complexo e com diversas ramificações e possibilidades em sua essência. Por esta razão, optou-se por realizar a fase de análise de *software* por uso de esboços baseados em diagramas da UML. Estes diagramas iniciais descrevem um funcionamento ideal do sistema com elementos que não chegaram a ser implementados no produto; a exemplo de uma régua virtual demonstrando as medidas em escala ou uma cena completamente editável à nível *sandbox*. Contudo, tal modelagem ajudou na implementação do *software* devido ao esclarecimento de que ações um usuário poderia tomar no sistema (Figura 3), assim como o fluxo de atividades e ações tomadas pela aplicação (Figura 4).

Figura 3. Diagrama de caso de uso do sistema FisiStone.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 4. Diagrama de Atividades do sistema FisiStone.



Fonte: elaborado pelo autor.

O MVP é uma aplicação em Realidade Aumentada utilizável em *smartphones* com sistema Android, cuja ativação de suas funções depende de um marcador posicionado no ambiente. A principal funcionalidade é a visualização de uma esfera em movimento retilíneo e uniforme suspenso no ar de acordo com as variáveis definidas pelo usuário.

Durante a execução do *software*, as opções disponíveis na interface (Figura 5) são: 1) Troca de cena, 2) abre o menu lateral com as modificações possíveis à cena atual, 3) Inicia a simulação, 4) Redefine a simulação e 5) Alteração de propriedades durante a simulação. As diferentes cenas servem diferentes propósitos, a cena implementada descreve o movimento de um objeto em trajetória retilínea e uniforme e tem por objetivo ser um exemplo do que é

possível alcançar com a realidade aumentada no ensino dos conceitos da Mecânica Newtoniana no Ensino Médio. Iniciada a simulação, a cobaia se deslocará por quanto tempo for definido, a uma certa velocidade e até a posição final definida pelo usuário. Por fim, reinicia-se a cena ao clicar no botão de RESETAR, que posiciona novamente a esfera no lugar e redefine suas variáveis.

Figura 5: Interface e Menu Lateral da aplicação FisiStone.



Fonte: elaborado pelo autor

É possível a alteração de três variáveis da simulação pelo menu lateral (Figura 6): a posição final da pedra, a quantidade de tempo da simulação e a velocidade da pedra durante o trajeto. O usuário pode alterar somente duas destas variáveis de forma que a faltante seja calculada automaticamente, isto implica que quando há a definição de todas as variáveis, uma delas não seja aplicada e, portanto, definida pelo sistema. Além disso, é possível modificar o tamanho da pedra, sendo esta e uma outra propriedade, escolhida pelo usuário, possíveis de serem alteradas em tempo de simulação por seus respectivos *sliders* na interface.

Junto ao *software*, utiliza-se a instrução para o ensino do Movimento Retilíneo e Uniforme, com ênfase na definição matemática de Velocidade Média:

- a. **Identificação das Metas Instrucionais:** o aluno deve ser capaz de realizar previsões e analisar conceitos acerca do movimento de um corpo, assim como investigar situações problemas, de modo a estudar e compreender resultados de experimentos e elaborar modelos preditivos simples no contexto referente ao Movimento Retilíneo Uniforme.
- b. **Identificação de Comportamento de Entrada e Características do Aprendiz e Análise Instrucional:** os alunos já possuem uma percepção de conceitos físicos básicos de dinâmica, como movimento, as leis de Newton, trabalho etc. No âmbito matemático, há um conhecimento geral da álgebra necessária à solução de equações de primeiro e segundo grau, contudo, não há uma base forte que permita a correlação de variáveis e seus significados no mundo real, isto é, uma modelagem matemática dos fenômenos observados.
- c. **Descrição dos Objetivos de Performance:**

- i. Entender o papel da Matemática na Física;
- ii. Ser capaz de iniciar uma análise investigativa ao observar fenômenos, sem necessariamente estar familiarizado com a fórmula que explica o ocorrido;
- iii. Entender os conceitos de proporcionalidade inversa e direta.

d. Exemplo de Teste com Critério Referenciado:

- i. O que significa dizer “prever as mudanças” de um objeto?
- ii. Como descrever tais mudanças?
- iii. Reformule a seguinte pergunta: “Qual a velocidade do carro?”
- iv. Como o movimento pode ser medido?

e. Desenvolvimento da Estratégia Instrucional:

- i. Apresentar ao aluno uma simulação, e pedir que ele descreva o movimento com valores absolutos, por uma quantidade de vezes conveniente (dizer em qual posição a cobaia esteve em determinado segundo, por exemplo). Após isso, requisitar que sejam expressas outras situações ao se utilizar de variáveis genéricas. Com isto, explicar o que é um modelo matemático e demonstrar que o aluno chegou a um.
- ii. Realizar as experimentações ao lado do discente, questionando-o sobre o observado de forma a guiar seu raciocínio a alcançar o objetivo.
- iii. Pedir ao aluno que observe o que ocorre ao diminuir ou aumentar os valores das variáveis de tempo ou posição final, exclusivamente. Dada as respostas, explicações acerca da proporcionalidade entre cada símbolo podem ser desejáveis.

f. Desenvolvimento e Seleção dos Materiais Instrucionais: a aplicação presente neste artigo deve ser utilizada para os experimentos realizados em laboratório. Para questões teóricas, recomenda-se o uso do material desenvolvido por Feynman (1963), nos capítulos 5.1, 8.1 e 8.2.

Uma observação se faz necessária, as questões apresentadas na etapa **d.** do modelo devem possuir um caráter mais filosófico e observacional, tal que exercite o raciocínio dos alunos, onde suas contemplações não devem ser avaliadas binariamente entre certo e errado; nesta etapa, a argumentação do aluno deve servir de objeto à avaliação tanto do ganho quanto da falta de performance. É encorajado, caso seja desejado, que o docente formule questões pertinentes ao perfil da sua turma, podendo contextualizá-las à realidade observada pelos aprendizes, desde que estas se mantenham fiéis às exemplificadas. Em contrapartida,

somente diante da estratégia e.iii., o foco e o diálogo devem estar nas terminologias e valores matemáticos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista as críticas e percepções acerca do modelo do ensino da disciplina de Física na Educação Básica no Brasil, as técnicas de Design Instrucional apresentadas por Gagné, Briggs e Wager (1992) e os processos do aprendizado expostos por Skinner (1972), foi-se obtido o planejamento de uma instrução para o ensino dos conceitos acerca do Movimento Retilíneo e Uniforme para utilização do *software* também produzido durante a pesquisa. O desenvolvimento da aplicação passa inicialmente pela etapa de modelagem e se utilizou de diagramas da UML para validação e planejamento de negócio. O *FisiStone* acabou por ser um simulador em RA simples do movimento de um corpo em trajetória retilínea.

Embora os objetivos expostos tenham sido atingidos, há pontos em que a melhora é necessária, por isso, propostas futuras para aperfeiçoamento do projeto envolvem o aprimoramento da aplicação (com uma cena complementar e uma interface que facilite a visualização dos experimentos) e testes em sala de aula.

6. Agradecimentos

Agradeço ao apoio concedido com a bolsa PIBIC/CNPq – processo no. 128990/2022-8, durante a realização deste projeto.

7. REFERÊNCIAS

ARTOOLKITX. Introduction to ARToolKitX. 12 de março de 2013. Disponível em: github.com/artoolkitx/artoolkitx/wiki/Introduction-to-artoolkitX. Acesso em: 12 de abril de 2023.

AUSUBEL, D. P. et al. Psicologia educacional. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

AVELEYRA, E. E.; RACERO, D. A.; TOBA, G. G. The didactic potential of AR in teaching physics. In: 2018 IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE). IEEE, 2018. p. 1-3.

AZUMA, R. T. The most important challenge facing augmented reality. *Presence*, v. 25, n. 3, p. 234-238, 2016.

AZUMA, R. T. et al. Recent advances in augmented reality. *IEEE computer graphics and applications*, v. 21, n. 6, p. 34-47, 2001.

BARBATSIS, K. et al. 3D environments with games characteristics for teaching history: the VRLerna case study. In: Proceedings of the 29th ACM international conference on Design of communication. 2011. p. 59-66.

BENFÍCA, K. F. G.; PRATES, K. H. G. As contribuições do uso de experimentos no ensino-aprendizado da física. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 6, p. 33686-33703, 2020.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. Caderno Brasileiro de ensino de Física, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.

BRASIL. PCN+ Ensino Médio: orientações curriculares complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Linguagens, códigos e suas tecnologias. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002.

BRASIL. Diretoria de Avaliação da Educação Básica (DAEB). Relatório Pedagógico ENEM 2011-2012. MEC/INEP. 2015. Disponível em:. Acesso em: 02 fev. 2022.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular: Educação é a Base. 2018. Disponível em:. Acesso em: 02 jan. 2022.

BUCHNER, J.; BUNTINS, K.; KERRES, M. The impact of augmented reality on cognitive load and performance: A systematic review. 2021.

CALDAS, A. L. R. et al. Aplicativo de gamificação e realidade aumentada para trilhas educativas: ferramenta pedagógica para conscientização ambiental. Heringeriana, v. 12, n. 1, p. 5–19, 2019.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. The Feynman lectures on physics. Vol. 1, Mainly mechanics, radiation and heat. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1963.

FIOLHAIS, C. ARToolKit: Aspectos técnicos e aplicações educacionais. Realidade virtual: uma abordagem prática: livro dos minicursos do SVR2004, p. 141-183, 2004.

FORTE, C. E.; KIRNER, C. Usando realidade aumentada no desenvolvimento de ferramenta para aprendizagem de física e matemática. In: 6º Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, Santos-SP: UNISANTA. 2009. p. 1-6.

FOWLER, M. UML Essencial: Um Breve Guia para Linguagem Padrão. [S. l.]: Bookman Editora, 2014.

GAGNÉ, R. M.; BRIGGS, L. J.; WAGER, W. W. Principles of instructional design. Fort Worth: Harcourt Brace Jovanovich College Publishers, 1992.

IBAÑEZ, A. S.; FIGUERAS, J. P. Vuforia v1. 5 SDK: Analysis and evaluation of capabilities. 2013. Dissertação de Mestrado. Universitat Politècnica de Catalunya.

KAUFMAN, D.; SAUV, L. (Ed.). Educational gameplay and simulation environments: case studies and lessons learned: Case studies and lessons learned. IGI Global, 2010.

LEWIS, M.; JACOBSON, J. Game engines. Communications of the ACM, v. 45, n. 1, p. 27, 2002.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. Estudos avançados, v. 32, p. 73-80, 2018.

OLIVEIRA, A. N.; ANDRADE, P. A. A.; SIQUEIRA, M. C. A. A motivação em sala de aula: o que dizem os alunos sobre as aulas de Física do Ensino Médio?. ScientiaTec, v. 5, n. 2, p. 130-150, 2018.

PACHECO, B. A. et al. Usability evaluation of learning objects with augmented reality for smartphones: A reinterpretation of nielsen heuristics. In: Human-Computer Interaction: 4th Iberoamerican Workshop, HCI-Collab 2018, Popayán, Colombia, April 23–27, 2018, Revised Selected Papers 4. Springer International Publishing, 2019. p. 214-228.

PALMEIRA, F. C. A. et al. Jogo digital com realidade aumentada e inteligência artificial aplicado ao contexto de musicalização infantil com foco na percepção de musical. 2018.

PAPERT, S. A Máquina das Crianças: Repensando a escola na era da informática (edição revisada). Porto Alegre, RS: Editora Artmed, 2008.

PELLENS, M. A.; HOUNSELL, M. S.; SILVA, A. T. Augmented reality and serious games: A systematic literature mapping. In: 2017 19th Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR). IEEE, 2017. p. 227-235.

PETERSON, Christine. Bringing ADDIE to life: Instructional design at its best. Journal of Educational Multimedia and Hypermedia, v. 12, n. 3, p. 227-241, 2003.

RADU, I. Augmented reality in education: a meta-review and cross-media analysis. Personal and ubiquitous computing, v. 18, p. 1533-1543, 2014.

REZENDE, S. M. et al. A Realidade Aumentada em Situações de Aprendizagem na Educação Básica: Uma Revisão de Literatura. In: Anais do II Workshop sobre as Implicações da Computação na Sociedade. SBC, 2021. p. 102-111.

RIBEIRO, A. A. S.; CALDAS, R. L.; MACEDO, S. H. Aplicação da Realidade Aumentada ao ensino e aprendizagem do campo magnético de um ímã em forma cilíndrica e em condutor retilíneo. RENOTE, v. 18, n. 2, p. 428-438, 2021.

SILVA, A. S. S. D. Uso de Recurso Educacional com Mídias Interativas e Integradas On-Line em Ensino e Aprendizagem. 2013.

SILVA, P. O. et al. OS DESAFIOS NO ENSINO E APRENDIZAGEM DA FÍSICA NO ENSINO MÉDIO: Imagem: StockPhotos. Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente, v. 9, n. 2, p. 829-834, 2018.

SKINNER, B. F. Tecnologia do Ensino. Tradução: Rodolpho Azzi. São Paulo: Editora Herder, 1972.

SPENCER JR, B. F.; HOSKERE, V.; NARAZAKI, Y. Advances in computer vision-based civil infrastructure inspection and monitoring. Engineering, v. 5, n. 2, p. 199-222, 2019.

UNITY. What is Unity. Unity Technologies. s.d.. Disponível em: <<https://learn.unity.com/tutorial/what-is-unity#>>. Acesso em: 12/04/2023.

VERGNAUD, G. La théorie des champs conceptuels. Publications mathématiques et informatique de Rennes, n. S6, p. 47-50, 1990.

WULANDARI, S.; WIBOWO, F. C.; ASTRA, I. M. A review of research on the use of augmented reality in physics learning. In: Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2021. p. 012058.

ZANATTA, S. C.; NEVES, M. C. D. Uma Discussão sobre a Implantação da Bncc: um olhar para o ensino de física. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO DE CIÊNCIAS. 2016. p. 01-10.

Contatos: ryan.marco.ismart@gmail.com e pollyana.notargiacomo@mackenzie.br