

Ambiente investigativo da aprendizagem da ciência aliado às simulações virtuais como metodologias ativas no ensino de física: Um estudo quase-experimental nas aulas de mecânica newtoniana no ensino médio

Artur Araújo Cavalcante e Auzuir Ripardo de Alexandria

Programa de Pós-Graduação em Ensino da Rede Nordeste de Ensino (RENOEN); Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Fortaleza, Brasil. E-mails: artur.fisica@gmail.com; auzuir@ifce.edu.br

Resumo: A utilização de metodologias ativas, combinadas com tecnologias digitais, pode desempenhar um papel significativo na solução de desafios fundamentais no ensino de Física, tais como a incompreensão de conceitos abstratos e a desmotivação dos estudantes. Diante dessa problemática, foi realizado um estudo quase-experimental para avaliar as contribuições da metodologia ambiente investigativo da aprendizagem da ciência, aliada às simulações virtuais, no aprimoramento do processo de ensino-aprendizagem dos conceitos relacionados à mecânica newtoniana. A pesquisa foi realizada em uma escola particular em Fortaleza (Brasil). O foi submetido a aulas expositivas tradicionais, enquanto o grupo experimental participou de atividades de intervenção. Visando comparar a metodologia de ensino tradicional à metodologia proposta, foram aplicados pré-testes e pós-testes nos dois grupos e realizada uma análise quantitativa dos resultados através do teste U de Mann-Whitney e do ganho normalizado de Hake. Os resultados apontaram que os alunos do grupo experimental apresentaram um desempenho superior nas avaliações ($g = 0,33$) em comparação com os estudantes do grupo controle ($g = 0,19$), evidenciando um impacto positivo das Atividades de Intervenção no processo de ensino-aprendizagem da temática abordada.

Palavras-chave: ambiente investigativo da aprendizagem da ciência, mecânica newtoniana, ensino de física, simulações virtuais.

Title: Investigative science learning environment allied with virtual simulations as an active methodology in the teaching of physics: A quasi-experimental study in newtonian mechanics classes in high school.

Abstract: The use of active methodologies, combined with digital technologies, can play a significant role in solving fundamental challenges in Physics teaching, such as the misunderstanding of abstract concepts and student demotivation. Faced with this problem, a quasi-experimental study was carried out to evaluate the contributions of the investigative science learning environment methodology, combined with virtual simulations, in improving the teaching-learning process of concepts related to newtonian mechanics. The research was carried out in a private school in Fortaleza (Brazil). The control group was subjected to traditional expository classes, while the experimental group participated in intervention activities. Aiming

to compare the traditional teaching methodology to the proposed methodology, pre-tests and post-tests were applied to both groups and a quantitative analysis of the results was carried out using the Mann-Whitney U test and Hake's normalized gain. The results showed that experimental group students performed better in the assessments ($g = 0.33$) compared to control group students ($g = 0.19$), showing a positive impact of intervention activities on the teaching-learning process of the topic covered.

Keywords: investigative science learning environment, newtonian mechanics, teaching physics, virtual simulations.

Introdução

É de conhecimento geral que a Física é uma das disciplinas no Ensino Básico responsável por grande parte das reprovações. Este fato é muitas vezes relacionado às dificuldades na compreensão de alguns fenômenos físicos por parte dos alunos, o que, por consequência, os leva a ter certo desinteresse ou mesmo a odiar estudar a disciplina (Cavalcante e Sales, 2020). Além disso, os adolescentes apresentam dificuldade em absorver conhecimentos que sejam abstratos e que envolvam cálculos matemáticos (Papalia et al., 2013).

De acordo com Sales et al. (2017), o problema na aprendizagem de Física pode estar relacionado aos métodos de ensino utilizados por grande parte dos professores, que, muitas vezes, recorrem apenas à apresentação de aulas expositivas tradicionais — nas quais o professor apresenta o conteúdo de forma oral e direta, com pouca interação dos alunos — e à resolução de um conjunto de exercícios. Segundo os autores, embora esses métodos busquem garantir a fixação do conhecimento, eles podem não promover o engajamento ativo dos alunos e, conseqüentemente, resultar em uma compreensão superficial do conteúdo.

Outro fator que pode influenciar na dificuldade da transmissão do conhecimento do professor para o aluno, não somente nas aulas de Física, mas em todas as disciplinas, é a não utilização, por parte dos professores, das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC) (Costa et al. 2022). Afinal, as TDIC estão presentes no cotidiano dos “nativos digitais”, conforme nomeados por Sales et al. (2017); ou seja, dos jovens contemporâneos, que cresceram inseridos nessa cultura digital. Costa et al. (2022) apontam, ainda, que as TDIC não são utilizadas exclusivamente por esses jovens contemporâneos; também fazem parte da vida das pessoas que nasceram em gerações anteriores e que estão sendo obrigadas a interagir com essas tecnologias.

O uso de recursos tecnológicos como as animações e as simulações computacionais, em sala de aula, facilitam o estabelecimento de uma associação entre o conhecimento teórico e o prático do aluno (Fontes Neto y Carvalho, 2022). Na Física – em que existem diversas situações abstratas para a maioria dos alunos –, esses recursos podem ser empregados para ajudar no processo de ensino-aprendizagem (Cavalcante e Sales, 2020).

Na Mecânica Newtoniana, por exemplo, muitos estudantes percebem a ideia de movimentos sem atrito como algo imaginário e frequentemente acreditam que é necessária a presença de uma força para que um objeto

permaneça em movimento (Parreira, 2018). Conforme Bellucco (2023), esse equívoco decorre do senso comum, que é influenciado por experiências cotidianas. Para um aluno que ainda não domina o conceito de inércia, entender que um objeto pode continuar em movimento indefinidamente na ausência de forças aplicadas é um desafio, pois essa ideia é bastante abstrata (Goya e Bzuneck, 2012).

Além disso, atualmente, a utilização das TDIC no Ensino Básico é uma exigência da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que recomenda que o professor, no contexto de sala de aula, deve se preocupar em:

Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (Ministério da Educação Brasil, 2018, p. 115).

Tendo em vista que esta é uma das competências da BNCC, faz-se necessário que o professor consiga aliar esses recursos às particularidades da sala de aula, fazendo com que o aluno se sinta mais engajado no ambiente escolar e que o processo de ensino-aprendizagem seja mais eficaz.

Outro aspecto importante para a eficiência do processo de ensino-aprendizagem de Física é a utilização de experimentos práticos. Para Heidemann et al. (2016), os conceitos de Física poderiam ser bem mais acessíveis aos alunos se os professores introduzissem, em suas aulas, algumas atividades experimentais de demonstração ou atividades tradicionais de laboratório.

Embora essas atividades apresentem dificuldades comuns para as suas realizações, desde a carência de equipamentos até a inexistência de orientação pedagógica adequada – consoante discutem as pesquisas de Heidemann (2016) e de Ribeiro e Verdeaux (2013) -, são muitos os fatores que favorecem a demonstração experimental. Entre eles, e talvez o mais importante, está o seu caráter motivacional (Heidemann et al., 2016).

Diante das dificuldades que os professores de Física encontram no processo de ensino-aprendizagem da disciplina, a Investigative Science Learning Environment (ISLE), como metodologia de ensino, pode contribuir bastante para a eficiência desse processo (Etkina et al., 2019)

A proposta da metodologia ISLE é fazer com que os estudantes aprendam Física seguindo os mesmos passos utilizados pelos cientistas na construção e na aplicação do conhecimento (Etkina, 2015). Assim, esse método propõe que os estudantes sejam capazes de encontrar padrões, construir e testar explicações para os padrões e utilizar múltiplas representações para pensar sobre o fenômeno físico estudado (Etkina et al., 2019). De acordo com os autores citados, esses procedimentos formam um ciclo, que poderá se repetir quantas vezes for necessário. Portanto, essa metodologia foge bastante da metodologia de ensino tradicional.

Diante do que foi apresentado até aqui, tem-se como objetivo desse artigo investigar as contribuições da metodologia ISLE aliada aos simuladores virtuais para a melhoria da aprendizagem dos conceitos de Mecânica Newtoniana dos alunos de Ensino Médio.

Em relação à organização, esta pesquisa encontra-se dividida em cinco seções, além desta primeira – reservada às considerações iniciais – e da sétima – destinada às considerações finais. Assim, na segunda seção, será discutido o uso das simulações virtuais no ensino de Física; na terceira, será apresentada a metodologia ISLE; na quarta, será abordado o delineamento de pesquisa; na quinta, serão esclarecidos os procedimentos metodológicos do estudo e, finalmente, na sexta seção, serão apresentados os resultados.

As simulações virtuais aplicadas ao ensino de física

Como mencionado anteriormente, nos últimos anos as TDIC têm se tornado cada vez mais comuns nos hábitos da sociedade, o que também é visível no ambiente escolar, onde os alunos estão familiarizados com diversos ambientes virtuais (Sales et al., 2017).

Nesse sentido, o uso de simulações virtuais pode ser uma estratégia eficiente para engajar os alunos nas atividades propostas em sala de aula e tornar o conhecimento teórico mais acessível para eles (Wieman et al., 2010). Além disso, convém lembrar que a Física lida com materiais que, muitas vezes, estão fora do alcance dos sentidos do ser humano tais como partículas subatômicas (Medeiros e Medeiros, 2002) e que o ensino da disciplina em questão se caracteriza pela presença de vários conceitos que são abstratos para os alunos, como a ausência de atrito ou resistência do ar. Em vista disso, é possível apontar que as simulações virtuais podem facilitar o trabalho do professor, na medida em que trazem para o plano do concreto um conjunto de noções abstratas.

No que diz respeito ao grau de interatividade entre o aprendiz e o computador, as simulações digitais são modelos computacionais que representam fenômenos reais ou hipotéticos que permitem ao usuário explorar as consequências de manipular ou modificar os parâmetros do modelo (García y Ortega, 2007). Esta é uma das propostas de um dos projetos mais conhecidos de simulações de ciências no mundo: o Physics Educational Technology, doravante PhET.

Fundado em 2002 por Carl Wieman, vencedor do Prêmio Nobel de Física, o projeto PhET, da Universidade de Colorado Boulder, disponibiliza simulações interativas gratuitas de Ciências e de Matemática. As simulações PhET baseiam-se numa extensa pesquisa em educação e envolvem os alunos através de um ambiente intuitivo, em que eles aprendem através da exploração e da descoberta (Wieman et al., 2010).

O principal objetivo das simulações PhET é proporcionar aprendizagem ativa por meio de exploração, dando a possibilidade ao aluno construir seus próprios significados e entendimentos. Sobre a participação direta dos alunos com as simulações PhET, Wieman, Adams e Perkins (2008, p. 683) afirmam que descobriram que:

[...] os alunos não conseguem entender a ciência na simulação apenas observando. Eles devem interagir ativamente com a simulação. A maior

parte do aprendizado ocorre quando a estudante se faz perguntas que guiam sua exploração da simulação e sua descoberta das respostas. Quando os alunos se envolvem em uma exploração tão autônoma, aprendem melhor. Por exemplo, estudantes não-científicos sem conhecimento prévio de física são capazes de fornecer explicações muito boas de uma onda eletromagnética depois de menos de uma hora jogando com a simulação de "Ondas de rádio (Wieman, Adams e Perkins, 2008, p. 683).

Além disso, todas as simulações são testadas com um grande número de alunos e alteradas conforme os resultados dos feedbacks das próprias simulações (Wieman et al., 2010).

Como já foi mencionado, nesse artigo foram utilizadas duas simulações virtuais do projeto PhET para trabalhar os conceitos de mecânica. Um dos motivos de se escolher este projeto está relacionado ao fato de que ele permite que os alunos acessem as simulações fácil e livremente e que eles possam manipulá-las, dentre outros dispositivos, em seus próprios aparelhos celulares, na medida que o professor os orienta, ao projetar a simulação na lousa. Além disso, o projeto é multilíngue e oferece, em sua plataforma, sugestões de atividades (Perkins et al., 2006; Wieman et al., 2010) que o professor pode utilizar como atividade para casa, por exemplo.

Feitos esses apontamentos sobre o uso das simulações virtuais no ensino de Física, convém, nesse ponto do estudo, apresentar as duas simulações do projeto PhET utilizadas na pesquisa: Forças e Movimento: Noções Básicas e Movimento de Projétil.

Forças e Movimento: Noções Básicas

O Forças e Movimento: Noções Básicas contém simulações relacionadas ao movimento de alguns objetos, como, por exemplo, uma geladeira e uma caixa. Nas simulações, o usuário pode trabalhar situações de movimento, alterando os valores numéricos da força aplicada, da força de atrito e da massa que será movimentada.

É possível verificar, por exemplo, como se comportam os valores numéricos da velocidade e da aceleração em situações hipotéticas criadas pelo próprio usuário e, assim, explorar conceitos da Mecânica Newtoniana relacionados às Leis de Newton e ao movimento de corpos.

Na Figura 1, é sintetizada essa discussão, ilustrando o funcionamento do Forças e Movimento: Noções Básicas.

Movimento de Projétil

O Movimento de Projétil apresenta simulações de lançamento de projéteis. Nelas, o usuário pode trabalhar situações de movimento, alterando os valores numéricos da velocidade, do ângulo e da altura de lançamento, da massa e do diâmetro do projétil, além da gravidade local e da resistência do ar. Assim, é possível observar o que acontece com o movimento de diferentes corpos em lançamentos simulados hipoteticamente pelo próprio usuário, permitindo que ele explore conceitos da Mecânica Newtoniana relacionados ao movimento de corpos.

A Figura 2, exibida a seguir, resume essa discussão, ilustrando o funcionamento do Movimento de Projétil.

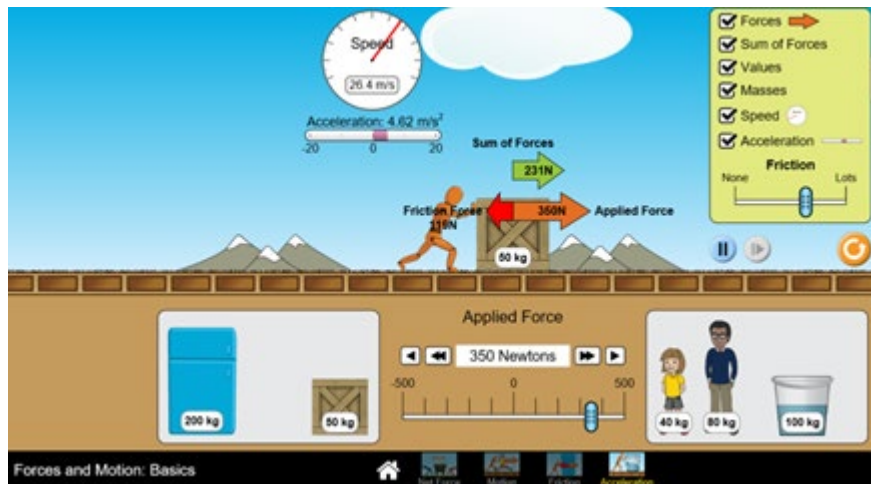


Figura 1. Imagem ilustrativa do Forças e Movimento: Noções Básicas.

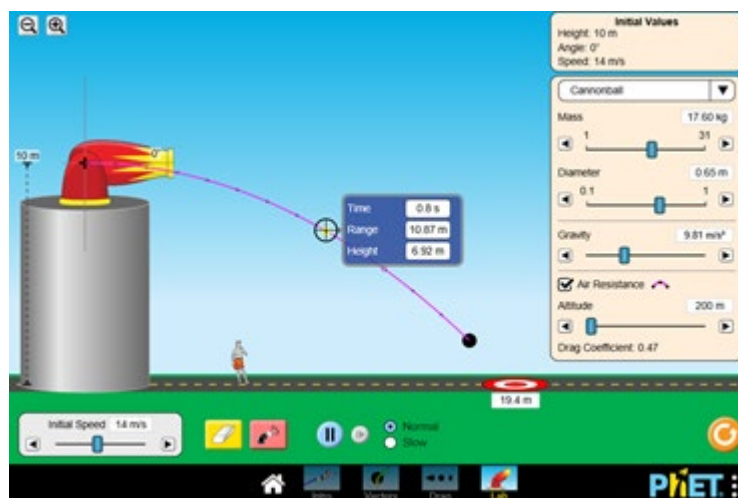


Figura 2. Imagem ilustrativa do Movimento de Projétil.

Feitas essas observações mais específicas sobre o Forças e Movimento: Noções Básicas e sobre o Movimento de Projétil, a seguir, será apresentada a metodologia de ensino implementada na pesquisa.

A metodologia *Investigative Science Learning Environment*

A *Investigative Science Learning Environment* (ISLE) – em português, Ambiente investigativo da aprendizagem da ciência – é uma metodologia de ensino que foi inspirada em um dos trabalhos desenvolvidos por Eugênia Etkina, líder de um grupo de estudo da Universidade Rutgers, situada nos Estados Unidos (Parreira, 2018).

O objetivo da metodologia ISLE é fazer com que os estudantes aprendam Física de forma semelhante àquela utilizada pelos cientistas na construção de seus conhecimentos (Čančula et al., 2015). Dessa maneira, os alunos devem aprender os conceitos de Física através da observação e da análise de fenômenos físicos, para que possam desenvolver as habilidades necessárias para o entendimento destes fenômenos.

Essa metodologia é baseada em um processo que consiste em observar, encontrar padrões, construir e testar explicações para os padrões e utilizar múltiplas representações para pensar sobre os fenômenos físicos (Etkina,

2015). Assim, Čančula et al. (2015) sugerem que a ISLE seja aplicada em três passos da seguinte forma:

- Passo 1: os alunos se deparam com algum fenômeno físico que seja interessante para eles, mas que ainda precisa ser explicado.
- Passo 2: os alunos coletam dados sobre o fenômeno observado, identificam padrões interessantes - que se repetem ou se alteram ao modificar uma variável - e elaboram múltiplas explicações mecanicistas sobre "por que o fenômeno está acontecendo dessa forma?". Os alunos são incentivados a gerar o maior número possível de respostas que façam sentido para eles e que possam servir como possíveis explicações para o fenômeno observado. Portanto, neste passo, os estudantes são induzidos a formularem previsões/suposições.
- Passo 3: os alunos testam suas explicações, conduzindo um ou mais experimentos de teste. O objetivo principal é fazer com que eles consigam eliminar o máximo de explicações em vez de "provar", de imediato, que uma delas é a solução do problema. As suposições que não são eliminadas são testadas novamente em outros experimentos. Por fim, os alunos aplicam as ideias que criaram para resolver problemas do mundo real.

Esses três passos formam um ciclo que pode se repetir quantas vezes for preciso. Para Čančula et al. (2015), este ciclo é representado de acordo com o mapa conceitual apresentado na Figura 3.

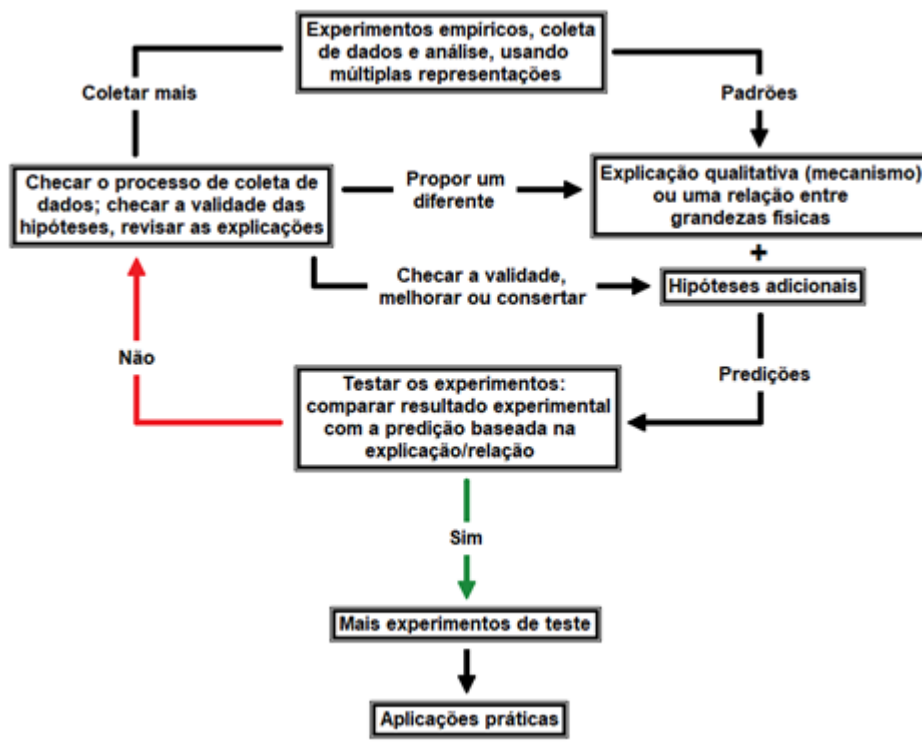


Figura 3. Mapa conceitual do ciclo da ISLE.

As aulas propostas com base na metodologia ISLE e as aulas práticas de Física no laboratório compartilham semelhanças, pois ambas instigam os alunos a explorar e entender fenômenos físicos de maneira ativa. Por outro lado, as duas diferem em uma característica fundamental, que é destacada por Parreira (2018, p. 2). Nos termos da autora,

[...] há uma diferença essencial entre aulas tradicionais de laboratório de ensino e as aulas do tipo ISLE, na medida em que aquelas geralmente são elaboradas com o intuito de que os estudantes verifiquem as leis da Física, enquanto estas pretendem que os alunos reconstruam as leis da Física através de práticas investigativas, semelhantes ao trabalho de um(a) pesquisador(a) de Física em seu laboratório, traduzindo-se em uma prática essencialmente construtivista (Parreira, 2018, p. 2).

É importante destacar que, além de trabalhar a habilidade de resolver problemas a partir de situações práticas em que os alunos podem compreender os conceitos de Física, essa metodologia desperta as habilidades científicas que os estudantes carregam e gera uma reflexão sobre os conceitos científicos analisados. Portanto, a ISLE permite discutir a questão de como se dá o desenvolvimento do conhecimento científico, assim como a validade e as limitações das leis físicas e dos modelos matemáticos, permitindo uma análise crítica do desenvolvimento e dos limites da Ciência.

Características da amostra e delineamento da pesquisa

Esta pesquisa foi desenvolvida em uma escola particular de Fortaleza-CE. A instituição em foco tem turmas que vão da Educação Infantil até o Ensino Médio e funciona nos turnos matutino e vespertino. Os dois professores que ficaram encarregados de ministrar as aulas nos dois Grupos são licenciados em Física pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Para o estudo, foram selecionadas duas turmas do 1º ano do Ensino Médio, totalizando 44 sujeitos de pesquisa – dos quais 17 formaram o Grupo Experimental (GE) e 27, o Grupo Controle (GC) –, com faixa etária variável entre 14 e 16 anos de idade.

Como não foi possível utilizar a aleatoriedade na escolha dos alunos de cada um dos Grupos - ou seja, os Grupos já estavam formados antes da intervenção dos pesquisadores -, utilizou-se o delineamento quase-experimental, por este se mostrar mais adequado a este tipo de pesquisa (Almeida e Moreira, 2008). Este delineamento é um dos mais usados na pesquisa educacional que envolve dois grupos a serem analisados (Ribeiro e Verdeaux, 2013). De acordo com Moreira (2011), neste tipo de delineamento, o pesquisador controla apenas a decisão sobre qual dos grupos deverá receber o tratamento (metodologia de ensino que se deseja avaliar) e qual dos grupos continuará recebendo aulas tradicionais, como comumente vem recebendo.

A Figura 4, exposta a seguir, mostra o modelo do delineamento quase-experimental proposto por Moreira (2011) envolvendo Grupo Controle (GC) e Grupo Experimental (GE).

Esse delineamento trabalha com dois grupos: um Grupo Experimental (GE) e um Grupo Controle (GC). É aplicado um pré-teste (1), antes da aplicação das metodologias, no Grupo de Controle 1 (GC1) e no Grupo Experimental 1 (GE1). De acordo com Moreira (2011), a aplicação deste pré-teste é muito importante para o delineamento quase-experimental, pois, como a escolha dos grupos não foi aleatória, os resultados desse teste podem evidenciar que os grupos estavam nas mesmas condições

antes do tratamento.

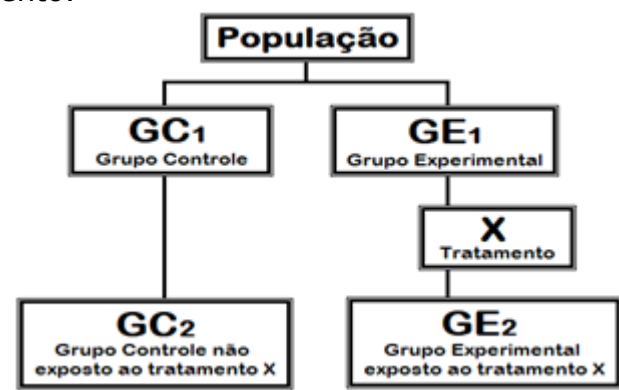


Figura 4. Modelo de delineamento quase-experimental.

Após a aplicação do pré-teste, o GC é submetido às aulas tradicionais sobre o tema proposto na pesquisa, enquanto que o GE é submetido ao tratamento X (metodologia de ensino que se deseja avaliar). Ambas as metodologias contemplarão um mesmo tema a ser ensinado. Ao final das aulas, aplica-se um pós-teste (2) nos dois grupos – Grupo de Controle 2 e Grupo Experimental 2. Ainda a esse respeito, vale ressaltar que o pós-teste é o mesmo aplicado anteriormente – ou seja, é igual ao pré-teste - e que a diferença dos resultados entre o pré-teste e o pós-teste deverá fornecer, ao pesquisador, evidências sobre o efeito do tratamento X (Moreira, 2011).

Dessa forma, o plano de aula desta pesquisa seguiu o delineamento quase-experimental proposto por Moreira (2011) e as aulas foram ministradas no período compreendido entre 21 de março a 9 de maio de 2019, totalizando 18 horas/aula para cada grupo, de acordo com o calendário anual já previsto para as aulas de Física nas turmas. Portanto, não foi preciso alterar o planejamento de ensino já formulado pelo professor no início do ano letivo.

Feitas essas descrições a respeito das características da amostra e do delineamento da pesquisa, na próxima seção, serão feitas observações de ordem metodológica sobre a pesquisa.

Procedimentos metodológicos

Antes de delinear os procedimentos metodológicos, é importante destacar que a pesquisa foi iniciada somente após a obtenção do parecer do Comitê de Ética e Pesquisa do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), protocolado sob o número CAAE: 05777419.1.0000.5589.

Para uma melhor sistematização e acompanhamento, a pesquisa foi dividida em três etapas, conforme é apresentado no Quadro 1.

Etapas da pesquisa	Grupo	
	Controle	Experimental
1ª - Avaliação diagnóstica (Pré-teste)	X	X
2ª - Atividades de Intervenção		X
3ª - Avaliação dos conhecimentos adquiridos (Pós-teste)	X	X

Quadro 1. Sistematização das etapas da pesquisa junto aos Grupos.

Na primeira etapa, com o intuito de identificar os conhecimentos prévios dos alunos com relação ao assunto abordado, foi aplicado o Force Concept Inventory (doravante FCI) – ou Inventário dos Conceitos de Força (ICF), em português – como pré-teste. O FCI é um teste de 30 questões de múltipla escolha desenvolvido por Hestenes, Wells e Swackhammer, em 1992, que foi projetado para avaliar a compreensão dos estudantes dos conceitos básicos da Mecânica Newtoniana (Hestenes et al., 1992). Vale ressaltar que o teste tem acesso restrito para professores. Caso o professor queira acessar as questões do FCI, precisará fazer o cadastro na página: <https://www.physport.org/assessments/>.

Na segunda etapa, o Grupo Controle (GC) participou de 6 encontros, cada um consistindo em 3 aulas de 50 minutos, totalizando 18 aulas. Destas, 4 foram dedicadas à aplicação de testes (pré e pós), e as 14 aulas restantes foram conduzidas por meio de método expositivo tradicional – utilizando apenas o quadro branco e o pincel – e também para a realização das atividades propostas. A cada tópico lecionado, os alunos realizaram exercícios do livro didático adotado pelo colégio, e ao final de cada encontro, foi designada uma atividade para casa com exercícios do mesmo material

O Grupo Experimental (GE), por sua vez, teve a mesma quantidade de encontros e de aulas, mas estas foram divididas da seguinte forma:

- 1 aula para a apresentação da pesquisa.
- 4 aulas reservadas para a aplicação dos testes (pré e pós);
- 1 aula para a manipulação e para o reconhecimento das simulações da Plataforma PhET, sob orientação do professor.
- 8 aulas destinadas para as Investigações de conceitos da Mecânica Newtoniana;
- 4 aulas disponibilizadas para a correção e feedbacks das atividades de casa;

No Quadro 2 é apresentada a divisão dos encontros e as atividades que foram realizadas em cada uma das aulas trabalhadas no GE.

As investigações seguiram as propostas do grupo de Rutgers com a implementação da metodologia ISLE, mas, em vez de operarem experimentos reais de laboratório, os alunos manipularam as simulações Forças e Movimento: Noções Básicas e Movimento de Projétil no laboratório virtual da plataforma PhET. Nessas aulas, foi disponibilizado um computador para cada um dos alunos, que, com a orientação do professor, simularam situações hipotéticas relacionadas à Mecânica Newtoniana, como é apresentado na Figura 5.

Na terceira etapa, em que foram utilizados testes semelhantes aos da primeira etapa, realizou-se a avaliação dos conhecimentos adquiridos.

Ainda a esse propósito, vale lembrar que, na primeira e na terceira etapas, não se utilizou nenhum recurso de tecnologia digital; recorreu-se exclusivamente a lápis, caneta, borracha e papel.

Encontro	Aula	Atividades que foram realizadas
1	1	Apresentação da pesquisa e do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) para os alunos.
	2 e 3	Aplicação do pré-teste (FCI).
2	4	Divisão das equipes (de 3 a 4 membros) e apresentação do simulador Forças e Movimento: Noções Básicas.
	5 e 6	Investigação 1 (Anexo 1) e direcionamento de uma atividade na plataforma PhET para classe/casa, disponibilizada no endereço: https://phet.colorado.edu/ .
3	7	Correção e feedback da atividade de casa.
	8 e 9	Investigação 2 (Anexo 2). Direcionamento de uma atividade sobre a 1ª Lei de Newton na plataforma PhET para classe/casa, disponibilizada no endereço: https://phet.colorado.edu/ .
4	10	Correção e feedback da atividade de casa.
	11 e 12	Investigação 3 (Anexo 3). Direcionamento de uma atividade na plataforma PhET para classe/casa, disponibilizada no endereço: https://phet.colorado.edu/en/contributions/view/4889 .
5	13	Correção e feedback da atividade de casa e apresentação da simulação Movimento de Projétil.
	14 e 15	Investigação 4 (Anexo 4). Direcionamento de uma atividade PhET para casa, disponibilizada no endereço: https://phet.colorado.edu/en/contributions/view/4881 .
6	16	Correção e feedback da atividade de casa.
	17 e 18	Aplicação do pós-teste (FCI) sobre os conceitos de Mecânica Newtoniana e encerramento.

Quadro 2. Atividades realizadas nas três etapas da pesquisa.



Figura 5. Imagem dos alunos interagindo com a simulação Forças e Movimento: Noções Básicas.

Resultados

A presente seção tem como objetivo analisar, de forma quantitativa, os resultados obtidos, por meio de instrumentos de coleta de dados do pré-teste e do pós-teste, durante o período de investigação; comparando o desempenho dos alunos do Grupo Experimental com o desempenho dos

alunos do Grupo Controle.

Consoante mencionado anteriormente, a pesquisa foi realizada no primeiro semestre de 2019 em duas turmas do 1º ano do Ensino Médio de um colégio particular de Fortaleza (CE), denominadas de "Grupo Experimental" (GE) - composta por 17 estudantes - e de "Grupo Controle" (GC) - composta por 27 estudantes. Nos dois Grupos, foram aplicados testes de múltipla escolha (FCI) antes do início das aulas, denominados de "pré-testes", e após o encerramento das aulas, denominados de "pós-teste".

O pré-teste foi realizado por 16 estudantes do GE e por 27 do GC. No pós-teste, 16 alunos do GE e 25 do GC responderam às questões. Dessa forma, considerando que nem todos os discentes responderam ao pré-teste e/ou o pós-teste, decidiu-se utilizar apenas os dados referentes àqueles que responderam aos dois testes aplicados, a fim de proporcionar maior isonomia nas condições. Assim, a amostra a ser analisada para o teste FCI foi composta pelas respostas de 15 alunos do GE e de 25 alunos do GC.

Análise quantitativa e discussão dos resultados

De acordo com Gatti (2004), uma análise quantitativa abrange um conjunto de procedimentos, de técnicas e de algoritmos destinados a auxiliar o pesquisador a extrair de seus dados subsídios para responder às perguntas que norteiam a elaboração de seu estudo. Para a realização desta análise, foram utilizados os dados coletados a partir do pré-teste e do pós-teste, constituídos por 14 questões do FCI; já como ferramenta de análise, utilizou-se a estatística.

É importante frisar que a fim de atender aos seguintes assuntos da Mecânica Newtoniana: Leis de Newton, Movimento dos corpos, Força Gravitacional e Força de Atrito, foram selecionadas as questões de número 1, 3, 4, 12, 14, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27 e 28 do FCI.

Antes da aplicação das metodologias, os estudantes foram orientados a responder aos pré-testes. Vale ressaltar que, logo no primeiro encontro, todos os alunos dos grupos (GC e GE) foram informados de que seus desempenhos em todos os testes teriam efeito nas notas da disciplina. As respostas dos testes de múltipla escolha (baseados nas questões do FCI) foram avaliadas com um ponto para as respostas corretas e com zero pontos para as incorretas. O desempenho de cada um dos alunos foi calculado considerando a porcentagem do total de pontos obtidos. No Anexo 5, é apresentada a síntese dos resultados obtidos no pré-teste e no pós-teste dos dois grupos (GC e GE), levando em conta o resultado individual e a porcentagem de acertos por questão.

Para verificar se os dois grupos eram semelhantes antes da implementação das metodologias, os resultados obtidos a partir do pré-teste foram submetidos a procedimentos estatísticos. Dessa forma, utilizou-se o teste de Shapiro-Wilk (Tabela 1) que, de acordo com Moreira (2011), verifica a normalidade dos dados.

O teste de Shapiro-Wilk mostra uma diferença significativa do p-valor entre o Grupo Experimental ($p = 0,2614$) e o Grupo Controle ($p = 0,0095$). Considerando que a amostra é relativamente pequena ($N < 30$), os resultados apresentados na Tabela 1 mostraram indícios de que os dados não apresentam uma normalidade. Portanto, faz-se necessária a utilização

de uma estatística não-paramétrica (Moreira, 2011). Assim, como a pesquisa pretende comparar duas amostras independentes, sem normalidade na distribuição e relativamente pequenas, resolveu-se utilizar o teste U de Mann-Whitney, adequado a esse tipo de pesquisa (Moroco, 2011).

Grupo	GE	GC
Tamanho da amostra	15	25
Média	31,4667	28,8400
Desvio Padrão	12,1589	10,3669
p-valor	0,2614	0,0095

Tabela 1. Resultados do teste de Shapiro-Wilk.

O teste U de Mann-Whitney foi aplicado nos resultados obtidos a partir do pré-teste para evidenciar se há ou não diferenças significativas entre o conhecimento prévio dos dois grupos (GE e GC) antes das Atividades de Intervenção (Tabela 2).

Grupo	GE	GC
Tamanho da amostra	15	25
Soma dos Postos (Ri)	332,0	488,0
Mediana =	29,00	29,00
U =	163,00	
Z(U) =	0,6845	
p-valor (unilateral) =	0,2468	
p-valor (bilateral) =	0,4937	

Tabela 2. Resultados do Teste U de Mann-Whitney para o pré-teste.

O teste U de Mann-Whitney mostrou que os grupos não apresentaram diferenças significativas em seus desempenhos na realização do pré-teste. Estes resultados ($U = 163$, $p = 0,4937$) apontaram que inicialmente não existia diferença estatística entre o desempenho dos dois grupos, já que o p-valor está acima do referencial de significância estipulada pelo teste U de Mann-Whitney ($p > 0,05$). Assim como nas pesquisas de Miranda (2013), de Costa e Verdeaux (2016) e de Silva (2018) o resultado evidenciou que os conhecimentos prévios dos alunos dos dois grupos (GE e GC) podem ser considerados equivalentes.

Após a verificação da equivalência dos conhecimentos prévios dos dois grupos, realizaram-se as Atividades de Intervenção - com aulas expositivas no Grupo Controle e com aulas utilizando a metodologia ISLE com auxílio de simulações computacionais no Grupo Experimental -, conforme descrito anteriormente. Após as intervenções, foi aplicado o pós-teste nos dois grupos.

Para examinar se a aprendizagem dos alunos de um dos grupos foi superior à aprendizagem dos alunos do outro grupo, foi realizado novamente o teste U de Mann-Whitney, agora comparando a porcentagem de acertos de cada grupo no pós-teste (Tabela 3).

De acordo com os dados do teste U de Mann-Whitney (Tabela 3) após as intervenções, as duas turmas apresentaram diferenças significativas no pós-teste ($U = 103,5$, $p = 0,0189$). Dessa forma, os resultados apontaram que a metodologia de ensino aplicada nas aulas do GE influenciou de forma

significativa a aprendizagem, quando comparada com a metodologia tradicional aplicada no GC; visto que o resultado apresentou um p-valor abaixo do referencial de significância estipulada pelo teste U de Mann-Whitney ($p > 0,05$). Esta diferença significativa evidencia o efeito das Atividades de Intervenção no desempenho do GE (Moreira, 2011).

Grupo	GE	GC
Tamanho da amostra	15	25
Soma dos Postos (Ri)	391,5	428,5
Mediana =	57,00	43,00
U =	103,50	
Z(U) =	2,3467	
p-valor (unilateral) =	0,0095	
p-valor (bilateral) =	0,0189	

Tabela 3. Resultados do Teste U de Mann-Whitney para o pós-teste.

Além de buscar evidenciar, através do teste U de Mann-Whitney, que a metodologia ISLE, aliada ao uso de simuladores computacionais, contribuiu significativamente para a aprendizagem dos alunos do GE, resolveu-se comparar, de forma quantitativa, o rendimento e a evolução do GE com o rendimento e a evolução do GC, utilizando o parâmetro denominado “ganho normalizado” (g), “ganho de aprendizagem” ou “ganho de Hake”. Este cálculo foi introduzido e validado por Hake (1998) para comparar o ganho de aprendizagem de turmas submetidas a diferentes tipos de metodologias e cujos resultados, obtidos antes e depois desses processos metodológicos, foram avaliados com um pré-teste e com um pós-teste. A expressão matemática que define o ganho normalizado é dada por:

$$g = \frac{(\%pós) - (\%pré)}{(100\%) - (\%pré)}$$

Na expressão, “(%pré)” e “(%pós)” correspondem, respectivamente, ao percentual de acertos no pré e no pós-teste. Assim, o ganho normalizado (g) é a razão entre o ganho percentual real (diferença entre o percentual de acerto dos dois testes) e a máxima possibilidade de ganho médio. A Tabela 4 mostra os resultados dos cálculos do ganho normalizado para os dois grupos (GE e GC) contempladas nessa pesquisa.

Grupo	GE	GC
Tamanho da amostra	15	25
Porcentagem de acertos no pré-teste	31,47	28,84
Porcentagem de acertos no pós-teste	54,20	42,80
Ganho Normalizado	0,33	0,19

Tabela 4. Relação de sujeitos de pesquisa, porcentagem de acerto do GC e do GE no pré-teste e no pós-teste e ganho normalizado para as duas turmas.

Hake (1998) define três classes de ganho normalizado: baixo, médio e alto. Para o autor, as turmas de ganho baixo apresentam valores de g entre zero e trinta ($0 < g < 0,3$); já as turmas de ganho médio possuem valores de g iguais ou maiores que trinta e menores que setenta ($0,3 \leq g < 0,7$), e, por fim, as turmas de ganho alto têm valores de g iguais ou maiores que setenta ($0,7 \leq g$). Se compararmos os valores de g obtidos nas duas turmas dessa pesquisa com os valores de g propostos por Hake (1998),

percebe-se que o GC teve um ganho baixo ($g = 0,19$) e que a GE teve um ganho médio ($g = 0,33$).

Além disso, para comparar os resultados obtidos, foi realizada uma busca por trabalhos na literatura nacional e internacional que também verificaram o desempenho, no tocante ao ensino de Física, de turmas submetidas à metodologia ISLE, com base no cálculo do ganho normalizado. Foram considerados os estudos de Lefkos et al. (2011), Coca e Slisko (2013), Parreira (2018) e Buggé (2023).

Lefkos et al. (2011) investigaram os efeitos da metodologia ISLE combinada com o laboratório virtual "ThermoLab" em uma turma de ensino fundamental em uma escola na Grécia. A intervenção consistiu em 3 investigações de duas horas cada, nas aulas introdutórias de Termologia, e envolveu 14 estudantes. A análise comparativa entre o pré-teste e o pós-teste revelou um ganho normalizado médio de $g = 0,38$.

Coca e Slisko (2013) compararam o desempenho de dois grupos (Experimental e Controle) de estudantes do primeiro semestre de Licenciatura em Física de uma universidade mexicana. O Grupo Experimental, composto por 14 estudantes, foi submetido à metodologia ISLE, que incluiu 6 investigações de 90 minutos cada sobre conceitos de pressão, calor e eletricidade. Já o Grupo Controle, com 15 estudantes, foi submetido à metodologia expositiva tradicional em aulas sobre os mesmos temas. Os resultados apontaram um ganho normalizado médio de $g = 0,46$ para o Grupo Experimental e um ganho baixo de $g = 0,25$ para o Grupo Controle.

Parreira (2018) avaliou o impacto da metodologia ISLE em duas turmas do segundo semestre do curso de Engenharia na PUC-Minas, durante aulas de Mecânica. Ao longo de três meses, foram realizadas 17 investigações com cada turma. A avaliação foi feita com o teste FCI no início e no final do curso, resultando em ganhos normalizados de $g = 0,29$ para a turma de 12 alunos e de $g = 0,24$ para a turma de 9 alunos. Embora esses ganhos sejam considerados baixos segundo a classificação de Hake (1998), estão, conforme Korff et al. (2016), acima do ganho médio obtido com métodos tradicionais de ensino, que é de $g = 0,22$.

Buggé (2023) avaliou os efeitos da metodologia ISLE no aprendizado de estudantes de 15 a 18 anos em uma escola pública americana. O estudo envolveu duas turmas, cada uma com 23 alunos. A metodologia foi aplicada ao longo de 21 horas-aula de um curso de Física e incluiu 7 investigações sobre Cinemática. Os ganhos normalizados observados foram de $g = 0,43$ e $g = 0,50$ para cada uma das turmas.

A Tabela 5 apresenta uma síntese dos ganhos normalizados para cada uma das turmas submetidas à metodologia ISLE nos estudos citados acima, incluindo o número de alunos amostrados e os assuntos abordados.

Os resultados das pesquisas de Lefkos et al. (2011), Coca e Slisko (2013), Parreira (2018) e Buggé (2023) estão alinhados com os desta pesquisa, uma vez que os ganhos normalizados obtidos encontram-se dentro do intervalo de ganho médio proposto por Hake (1998) ou, no caso das turmas avaliadas por Parreira (2018), muito próximos dele.

Trabalho	Nº de alunos	Assunto(s)	G
Lefkos et al. (2011)	14	Calor e temperatura	0,38
Coca e Slisko (2013)	14	Pressão, calor e eletricidade	0,46
Parreira (2018)	12	Mecânica geral	0,29
Parreira (2018)	9	Mecânica geral	0,24
Buggé (2023)	23	Cinemática	0,43
Buggé (2023)	23	Cinemática	0,50

Tabela 5. Síntese dos ganhos normalizados (g) para cada uma das turmas submetidas à metodologia ISLE.

É importante ressaltar que, entre os estudos listados, apenas os docentes envolvidos na pesquisa de Buggé (2023) receberam um curso de capacitação inicial para aplicar a ISLE no contexto de sala de aula e já possuíam experiência com a metodologia em outras pesquisas. Esse fator pode ter contribuído para que os resultados encontrados pela autora fossem superiores aos das demais pesquisas, cujos docentes receberam orientação sobre o passo a passo da ISLE, mas tiveram sua primeira experiência de aplicação em sala de aula.

Outro aspecto que merece atenção é que os ganhos normalizados encontrados por Lefkos et al. (2011), Coca e Slisko (2013) e Buggé (2023) se referem a dados da literatura internacional. Conforme Barros et al. (2004), é importante considerar com cuidado estes resultados, pois diferentes contextos podem deslocar os valores esperados do ganho de Hake. Embora a literatura internacional forneça uma base de comparação, ela não deve ser aplicada uniformemente a todos os contextos, uma vez que a aplicação da metodologia em análise pode variar conforme o ambiente, os recursos disponíveis, as características dos alunos e outros fatores contextuais.

Finalmente, no que diz respeito ao método de ensino tradicional (aulas exclusivamente expositivas), Korff et al. (2016), conforme mencionado anteriormente, indicam que o ganho médio é de $g = 0,22$. Barros et al. (2004), por sua vez, destacam que, tanto na literatura nacional quanto na internacional, os valores de g variam entre 0,1 e 0,2. Na presente pesquisa, o ganho do GC ($g = 0,19$) está dentro do intervalo proposto por Barros et al. (2004) e é próximo do valor médio indicado por Korff et al. (2016). Isso indica que o grupo também obteve um ganho normalizado compatível com o de metodologias tradicionais.

Conclusão

A Física é uma disciplina responsável por um grande número de reprovações no Ensino Básico e esse fato está, muitas vezes, relacionado às dificuldades na compreensão de alguns fenômenos físicos por parte dos alunos, o que, por consequência, gera desinteresse no aprendizado.

Tendo em vista esse cenário, muitos trabalhos, ao longo dos anos, preocuparam-se em investigar como o ensino de Física pode ser melhorado nas escolas e nas faculdades. Mesmo diante das diversas pesquisas realizadas, uma revisão da literatura apontou uma pequena quantidade de estudos que têm como propósito avaliar a utilização de algum tipo de metodologia ativa aliada ao uso de TDIC no processo de ensino-

aprendizagem de Mecânica Newtoniana.

Assim, esse artigo teve como objetivo investigar as contribuições da metodologia ISLE aliada aos simuladores virtuais para a melhoria da aprendizagem dos conceitos de Mecânica Newtoniana dos alunos de Ensino Médio. Para que esse objetivo fosse alcançado, foram realizadas Atividades de Intervenção durante seis semanas em uma turma de Ensino Médio. Mais especificamente, nas atividades propostas em sala de aula, foi implementada a metodologia ISLE associada aos simuladores virtuais.

Os resultados obtidos a partir dos cálculos do ganho de Hake indicaram que o Grupo Controle (GC), que foi submetido apenas a aulas convencionais (meramente expositivas), com uso exclusivo de lousa, pincel e apagador, obteve um ganho de $g = 0,19$. Esse ganho é considerado baixo por Hake (1998), mas está dentro da faixa de ganhos ($0,2 > g > 0,1$) esperada para metodologias tradicionais, conforme Barros et al. (2004).

Por sua vez, o Grupo Experimental (TE), que participou das Atividades de Intervenção, apresentou um ganho de $g = 0,33$, classificado como médio segundo Hake (1998). Esse valor é consistente com o ganho normalizado encontrado em outras pesquisas que utilizaram a metodologia ISLE no processo de ensino-aprendizagem.

Considerando os dados apresentados nesta pesquisa, observa-se que a metodologia ISLE demonstra um efeito positivo no desenvolvimento das habilidades dos alunos em Física. A presença de ganhos normalizados dentro ou próximos ao intervalo de ganho médio proposto por Hake (1998) sugere que essa estratégia pode ser eficaz na promoção da compreensão dos conceitos físicos, mesmo quando aplicada por docentes em seu primeiro contato com a metodologia.

Acreditamos que esse estudo possa contribuir para o ensino de Física, em geral, e, mais especificamente, para o ensino da Mecânica Newtoniana, visto que não existem muitos trabalhos na literatura nacional e internacional que apresentem resultados empíricos e que realizem uma análise de natureza quantitativa referentes ao tema em questão.

Finalmente, sugerimos que sejam realizadas outras pesquisas semelhantes a essa, em outros ramos da Física ou em outras disciplinas, com alguns ajustes que possam melhorar os resultados da avaliação.

Referências bibliográficas

Almeida, V. O., e Moreira, M. A. (2008). Mapas conceituais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos da óptica física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30(4), 4403. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/S0102-47442008000400009>

Barros, J. A., Remold J., Silva G. S. F. da, e Tagliati, J. R. (2004). Engajamento Interativo no curso de Física da UFJF. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 26(1), 63-69. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/S0102-47442004000100011>

Bellucco, A. (2023). Da lógica informal à lógica formal: desafios para introduzir os estudantes nas linguagens científicas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 22(3), 450-469. Recuperado de

http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen22/REEC_22_3_4_ex2024_838

Buggé, D. (2023). Improving scientific abilities through lab report revision in a high school investigative science learning environment classroom. *Physical Review Physics Education Research*, 19(2), 1-23.

Čančula, M. P., Planinšič, G., e Etkina, E. (2015). Analyzing patterns in experts' approaches to solving problems. *American Journal of Physics*, 83(366).

Cavalcante, A. A., e Sales, G. L. (2020). As contribuições das simulações forces and motion: basics (HTML5) e projectile motion (HTML5), da plataforma PhET, para o ensino da Mecânica Newtoniana. *Revista Exitus*, (10)10, 1-27. Recuperado de <https://doi.org/10.24065/2237-9460.2020v10n0id1142>

Coca, D. M., e Slisko, J. (2013). The influence of active physics learning on reasoning skills of prospective elementary teachers: A short initial study with ISLE methodology. *Latin American Journal of Physics Education*, 7(1), 3-9.

Costa, A. C. J. da, Volpi, F. J., Oliveira, E. de, y Malcher, G. T. (2022). Ensino híbrido e tecnologias digitais como suporte no processo de ensino e aprendizagem. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), 22-46. Recuperado de http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen21/REEC_21_1_2_ex1814_524

Costa, T. M., e Verdeaux, M. F. (2016). Gamificação de materiais didáticos: uma proposta para a aprendizagem significativa da modelagem de problemas físicos. *Experiências em Ensino de Ciências*, 11(2), 60-105. Recuperado de <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/558/529>

Coelho, M. N. (2018). Uma comparação entre Team-Based Learning e Peer-Instruction em turmas de Física do ensino médio. *Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar*, 4(10), 40-50. Recuperado de https://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID499/v13_n4_a2018

Etkina, E. (2015). Millikan award lecture: Students of physics - listeners, observers, or collaborative participants in physics scientific practices? *American Journal of Physics*, 83(8), 669-679.

Etkina, E., Brookes, D. T., Planinsic, G., e Van Heuvelen, A. (2019). *Instructor Guide* (2nd ed.). San Francisco: Pearson.

Fontes Neto, P. A., y Carvalho, E. F. V. de. (2022). Inteligências múltiplas, simulações e gamificação da avaliação: um estudo de caso no ensino de Física. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 466-490. Recuperado de http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen21/REEC_21_3_3_ex1799_533

García, M. L., y Ortega, J. G. M. (2007). Las TIC en la enseñanza de la Biología en la educación secundaria: los laboratorios virtuales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, (6)3, 562-576. Recuperado de http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen06/ART5_Vol6_N3

Gatti, B. A. (2004). Estudos Quantitativos em Educação. *Educação e Pesquisa*, 30(1), 11-30. Recuperado de

<https://www.scielo.br/j/ep/a/XBpXkMkBSsbBCrCLWjzyWyB/?format=pdf>

Goya, A., e Bzuneck, J. A. (2012). Concepção newtoniana, interesse, motivação em Física e relação com participação em laboratório. *III Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia* (pp. 1-18). Ponta Grossa: EDUTPR.

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement vs. traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74.

Heidemann, L. A., Araujo, I. S., e Veit, E. A. (2016). Atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica: uma alternativa para a ressignificação das aulas de laboratório em cursos de graduação em Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 38(1), 1-15. Recuperado de <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2018v23n2p352>

Hestenes, D., Wells, M., e Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141-158.

Korff, J. V., Archibeque, B., Gomez, K. A., Heckendorf, T., McKagan, S. B., Sayre, E. C., Schenk, E. W., Shepherd, C, e Sorell, L. (2016). Secondary analysis of teaching methods in introductory physics: A 50 k-student study. *American Journal of Physics*, 84(12), 969-974.

Lefkos, I., Psillos, D., & Hatzikraniotis, E. (2011). Designing experiments on thermal interactions by secondary-school students in a simulated laboratory environment. *Research in Science & Technological Education*, 29(2), 189-204. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/02635143.2010.533266>

Medeiros, A., e MEDEIROS, F. C. (2002). Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24(2), 77-86. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/S0102-47442002000200002>

Michaelsen, L. K., Knight, A. B., e Fink, L. D. (2004). *Team-based learning: a transformation use of small groups in college teaching*. Sterling: Stylus Publishing.

Ministério da Educação Brasil. (2018). *Base Nacional Comum Curricular*. Recuperado de <http://basenacionalcomum.mec.gov.br>

Miranda, M. S. (2013). *Objetos virtuais de aprendizagem aplicados ao ensino de Física: uma sequência didática desenvolvida e implementada nos conteúdos programáticos de Física ondulatória, em turmas regulares do nível médio de escolarização que utilizam um sistema apostilado*. Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Moreira, M. A. (2011). *Metodologias de pesquisa em ensino*. São Paulo: Livraria da Física.

Moroco, J. P. (2011). *Análises Estatísticas com o SPSS Statistic*. 5. ed. Pêro Pinheiro: Report Number.

Neves, A. J. M., Sá, M. B. de, Oliveira, A. S., Neves, J. V. O., e Carvalho, A. T. G. (2018). Resultados de aprendizagem associados ao uso do Peer-

Instruction numa escola média brasileira. *XVII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física* (pp. 1-8). Campos do Jordão: Sociedade Brasileira de Física.

Papalia, D. A., Olds, S. W., e Feldman, R. D. (2013). *Desenvolvimento humano*. 12. ed. Porto Alegre: Artmed.

Parreira, J. E. (2018). Aplicação e avaliação de uma metodologia de aprendizagem ativa (tipo ISLE) em aulas de Mecânica, em cursos de Engenharia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40(1), 1-6. Recuperado de doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0180

Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., Wieman, C., e LeMaster R. (2006). PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics. *The Physics Teacher*, 44(1), 18-23.

Quintas, J. M., e Carvalho, P. S. (2016). Ensino interativo na abordagem da eletricidade numa escola portuguesa. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33(3), 839-860. Recuperado de doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p839

Ribeiro, J. L. P., e Verdeaux, M. F. S. (2013). Uma investigação da influência da reconceitualização das atividades experimentais demonstrativas no ensino da óptica no ensino médio. *Investigação em Ensino Ciências*, 18(2), 239-262. Recuperado de <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/129>

Sales, G. L., Cunha, J. L. L., Gonçalves, A. J., Silva, J. B. Da, e Santos, R. L. (2017). Gamificação e ensinagem híbrida na sala de aula de Física: metodologias ativas aplicadas aos espaços de aprendizagem e na prática docente. *Conexões: ciência e tecnologia*, 11(2), 45-52. Recuperado de doi.org/10.21439/conexoes.v11i2.1181

Silva, J. B. (2018). *Gamificação de uma sequência didática como estratégia para motivar a atitude potencialmente significativa dos alunos no ensino de óptica geométrica*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Instituto Federal do Ceará, Fortaleza.

Wieman, C., Adams, W., e Perkins, K. K. (2008). PhET: Simulations that enhance learning. *Science*, 322(5902), 682-683.

Wieman, C., Adams, W., Loeblein, P., e Perkins, K. K. (2010). Teaching Physics using PhET simulations. *The Physics Teacher*, 48(4), 1-5.

Anexo 1. Investigación 1.

Física	Investigación 1 – Quais os fatores que fazem com que um corpo entre em movimento?
---------------	--

Nome:

Turma:	Turno:	Data: / /	Prof (a):
---------------	---------------	------------------	------------------

Vocês irão trabalhar como pesquisadores. Considerem as hipóteses abaixo. Elas podem estar certas ou erradas.

1. Se um objeto qualquer estiver em cima de uma plataforma inclinada (em relação a horizontal) ele entrará em movimento.
2. Se uma força qualquer for aplicada em um corpo que se encontra apoiado em uma plataforma horizontal áspera (presença de atrito), ele necessariamente irá se movimentar.
3. Se uma força qualquer for aplicada em um corpo que se encontra apoiado em uma plataforma horizontal polida (ausência de atrito), ele necessariamente irá se movimentar.

Utilizem os seus conhecimentos sobre Física para criar explicações e suposições que possam mostrar que as afirmações estão verdadeiras ou falsas. Registrem as suas suposições para cada afirmação.

(deixar linhas para as respostas)

Agora vocês irão testar a validade de cada uma de suas suposições utilizando os simuladores Forças e Movimento: Noções Básicas e Movimento de Projétil.

Suas suposições estavam corretas? Se sim, parabéns! Se não, continue simulando para verificar aonde vocês erraram.

É possível provar a veracidade ou a falsidade de cada uma das três afirmações através dos simuladores? Discutam os resultados em grupo e com o professor.

(deixar linhas para as respostas)

Anexo 2. Investigación 2.

Física	Investigación 2 – O que é preciso para que um corpo se mantenha em movimento?
---------------	--

Nome:

Turma:	Turno:	Data: / /	Prof (a):
---------------	---------------	------------------	------------------

Vocês irão trabalhar como pesquisadores. Considerem as hipóteses abaixo. Elas podem estar certas ou erradas.

1. Para que um objeto mantenha o seu movimento (mesmo sentido e módulo de velocidade) é preciso que haja uma força agindo sobre ele.
2. Se houver uma força agindo sobre um corpo qualquer ele necessariamente estará aumentando a sua velocidade.
3. Se desprezarmos todos os atritos, um corpo que se encontra sobre uma plataforma plana e horizontal, por mais pesado que seja, poderá se manter com velocidade constante se a soma das forças que agem sobre ele for nula.

Utilizem os seus conhecimentos sobre física para criar explicações e suposições que possam mostrar que as afirmações estão verdadeiras ou falsas. Registre as suas suposições para cada afirmação.

(deixar linhas para as respostas)

Agora vocês irão testar a validade de cada uma de suas suposições utilizando o simulador Forças e Movimento: Noções Básicas.

Suas suposições estavam corretas? Se sim, parabéns! Se não, continue simulando para verificar aonde vocês erraram.

É possível provar a veracidade ou a falsidade de cada uma das três afirmações através dos simuladores? Discutam os resultados em grupo e com o professor. (deixar linhas para as respostas)

Anexo 3. Investigação 3.

Física	Investigação 3 – Qual a relação matemática entre as grandezas força, massa e aceleração?		
Nome:			
Turma:	Turno:	Data: / /	Prof (a):

Vocês irão trabalhar como pesquisadores. Considerem as hipóteses abaixo. Elas podem estar certas ou erradas.

1. Considerem um bloco que desliza com velocidade constante em uma plataforma horizontal e sem atrito. Para que esse bloco acelere (ou desacelere) é preciso que exista uma força resultante diferente de zero agindo sobre ele.

2. Para situações sem atrito, a força aplicada em um corpo é sempre proporcional à sua aceleração.

3. É aplicada uma força constante em um corpo qualquer. Quanto maior for a sua massa, maior será a sua aceleração.

4. As grandezas força (F), massa (m) e aceleração (a) se relacionam através da equação matemática $F = m/a$.

Utilizem os seus conhecimentos sobre física para criar explicações e suposições que possam mostrar que as afirmações estão verdadeiras ou falsas. Registrem as suas suposições para cada afirmação.

(deixar linhas para as respostas)

Agora vocês irão testar a validade de cada uma de suas suposições utilizando o simulador Forças e Movimento: Noções Básicas.

Suas suposições estavam corretas? Se sim, parabéns! Se não, continue simulando para verificar aonde vocês erraram.

É possível provar a veracidade ou a falsidade de cada uma das quatro afirmações através dos simuladores? Discutam os resultados em grupo e com o professor.

(deixar linhas para as respostas)

Anexo 4. Investigação 4.

Física	Investigação 4 – Lançamentos de projéteis		
Nome:			
Turma:	Turno:	Data: / /	Prof (a):

Vocês irão trabalhar como pesquisadores. Considerem as hipóteses abaixo. Elas podem estar certas ou erradas.

1. No lançamento de projétil, quanto maior a resistência do ar (atrito), maior será a distância percorrida pelo projétil.

2. Em um lançamento oblíquo, onde é formado um ângulo diferente de 90 graus no lançamento, o tempo de subida sempre é maior que o tempo de descida.

3. Em um lançamento oblíquo, o maior alcance horizontal do projétil acontece ao ser lançado sob um ângulo de 60 graus com o solo (supostamente plano).

4. Em um lançamento oblíquo o projétil tem velocidade vertical nula somente na altura máxima.

5. No lançamento de projétil, quanto menor a massa do projétil maior será o seu alcance.

6. No lançamento de projétil, a aerodinâmica (formato) do projétil influencia na resistência do ar.

Utilizem os seus conhecimentos sobre física para criar explicações e suposições que possam mostrar que as afirmações estão verdadeiras ou falsas. Registrem as suas suposições para cada afirmação.

(deixar linhas para as respostas)

Agora vocês irão testar a validade de cada uma de suas suposições utilizando o simulador Movimento de Projétil.

Suas suposições estavam corretas? Se sim, parabéns! Se não, continue simulando para verificar aonde vocês erraram.

É possível provar a veracidade ou a falsidade de cada uma das seis afirmações através dos simuladores? Discutam os resultados em grupo e com o professor.

(deixar linhas para as respostas)

Anexo 5. Resultados do pré-teste e do pós-teste para os dois grupos da pesquisa.

Resultado do pré-teste do Grupo Controle (GC)															
Aluno	Questões do FCI														% de acertos
	Q1	Q3	Q4	Q1	Q1	Q1	Q2	Q2	Q2	Q2	Q2	Q2	Q2	Q2	
AC1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	29
AC2	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	29
AC3	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	36
AC4	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	21
AC5	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	29
AC6	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	29
AC7	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	36
AC8	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	50
AC9	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	21
AC10	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	21
AC11	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	57
AC12	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	29
AC13	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	43
AC14	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	29
AC15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	21
AC16	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	29
AC17	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	21
AC18	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	21
AC19	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	21
AC20	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	43
AC21	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	29
AC22	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	21
AC23	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	14
AC24	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	21
AC25	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	21
% de acertos	28	36	28	32	44	28	16	20	24	20	32	16	48	32	
Resultado do pós-teste do Grupo Controle (GC)															
Aluno	Questões do FCI														% de acertos
	Q1	Q3	Q4	Q1	Q1	Q1	Q2	Q2	Q2	Q2	Q2	Q2	Q2	Q2	
AC1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	57
AC2	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	50

AC3	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	36
AC4	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	50
AC5	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	50
AC6	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	43
AC7	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	64
AC8	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	71
AC9	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	29
AC10	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	36
AC11	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	64
AC12	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	36
AC13	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	57
AC14	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	29
AC15	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	43
AC16	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	64
AC17	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	21
AC18	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	29
AC19	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	36
AC20	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	50
AC21	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	43
AC22	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	36
AC23	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	29
AC24	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	29
AC25	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	36
% de acert os	4 4	4 8	4 4	48	60	56	48	36	28	28	44	20	56	52	

Resultado do pré-teste do Grupo Experimental (GE)

Alun o	Questões do FCI														% de acert os
	Q 1	Q 3	Q 4	Q1 2	Q1 4	Q1 9	Q2 0	Q2 1	Q2 2	Q2 3	Q2 4	Q2 5	Q2 7	Q2 8	
AE1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	50
AE2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	21
AE3	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	50
AE4	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	29
AE5	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	43
AE6	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	21
AE7	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	29
AE8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	29
AE9	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	21
AE10	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	36
AE11	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	43
AE12	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	14
AE13	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	43
AE14	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	14
AE15	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	29
% de acert os	3 3	3 3	2 0	47	40	20	27	13	27	27	40	20	60	33	

Resultado do pós-teste do Grupo Experimental (GE)

Alun o	Questões do FCI														% de acert os
	Q 1	Q 3	Q 4	Q1 2	Q1 4	Q1 9	Q2 0	Q2 1	Q2 2	Q2 3	Q2 4	Q2 5	Q2 7	Q2 8	

AE1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	71
AE2	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	57
AE3	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	64
AE4	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	64
AE5	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	64
AE6	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	36
AE7	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	64
AE8	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	43
AE9	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	43
AE10	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	50
AE11	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	57
AE12	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	50
AE13	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	43
AE14	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	50
AE15	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	57
% de acert os	6 0	4 0	5 3	73	80	27	40	33	53	40	60	53	87	60	