



UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS e
MATEMÁTICA

RAFAELA CÍCERA FERREIRA

**UMA ANÁLISE DA SIMULAÇÃO PhET COLORADO COMO FERRAMENTA PARA
O ENSINO DE FÍSICA: um estudo de caso comparativo com a realidade**

Caruaru

2023

RAFAELA CÍCERA FERREIRA

**UMA ANÁLISE DA SIMULAÇÃO PhET COLORADO COMO FERRAMENTA PARA
O ENSINO DE FÍSICA: um estudo de caso comparativo com a realidade**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação em Ciências e Matemática.

Área de concentração: Educação em Ciências e Matemática

Orientador: Augusto César Lima Moreira

Caruaru

2023

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Nasaré Oliveira - CRB/4 - 2309

F383a Ferreira, Rafaela Cícera.

Uma análise da simulação PhET Colorado como ferramenta para o ensino de física: um estudo de caso comparativo com a realidade. / Rafaela Cícera Ferreira. – 2023.

75 f.; il.: 30 cm.

Orientador: Augusto César Lima Moreira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós- Graduação em Educação em Ciências e Matemática, 2023.

Inclui Referências.

1. Física – Ensino e aprendizagem. 2. Realismo. 3. Teoria do modelo. 4. Método de simulação. 5. PhET. I. Moreira, Augusto César Lima (Orientador). II. Título.

CDD 371.12 (23. ed.)

UFPE (CAA 2023-099)

RAFAELA CÍCERA FERREIRA

**UMA ANÁLISE DA SIMULAÇÃO PhET COLORADO COMO FERRAMENTA PARA
O ENSINO DE FÍSICA: um estudo de caso comparativo com a realidade**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Educação em Ciências e Matemática.

Área de concentração: Educação em Ciências e Matemática.

Aprovada em: 29/08/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Augusto César Lima Moreira (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. João Eduardo Fernandes Ramos (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. Sérgio de Lemos Campello (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Augusto César Lima Moreira pela paciência e pelo tempo dedicado com seus ensinamentos na construção desta dissertação, aos meus amigos e amigas que me apoiaram e me ajudaram em algum momento desta trajetória, a minha mãe Cícera Maria da Silva por incentivar diariamente os meus estudos, as minhas irmãs e irmão pelo consolo nos momentos difíceis e ao meu companheiro, Gusto pela parceria diária e acolhimento contínuo.

RESUMO

No ensino de Física utilizam-se as simulações como ferramentas importantes na inserção dos conhecimentos adquiridos pelos(as) estudantes. Assim, essa pesquisa pretende investigar e analisar o modelo teórico utilizado no simulador PhET Colorado para o movimento de um esquetista em um plano inclinado com atrito. Para efetivação desta investigação utilizou-se o procedimento de estudo de caso, com intuito de compreender e interpretar os dados coletados e as análises críticas a partir da situação analisada. Para fundamentar nossos debates refletimos sobre a veracidade do simulador Physics Education Technology - PhET Colorado na utilização em sala de aula no ensino de Física. Tendo como aporte teórico, Bunge (1974), com seus fundamentos teóricos sobre modelos teóricos e realismo, e Cupani & Pietrocola (2002) que abordam conceitos sobre objeto-modelo. No âmbito desta pesquisa foi possível identificar como as questões relacionadas ao realismo ingênuo na utilização de simulações encontradas no simulador PhET podem comprometer o processo de ensino e aprendizagem dos conceitos de Física. Depreendendo-se, portanto, a necessidade de um entendimento de que as simulações, mesmo que importantes para o ensino de Física, não compreende a realidade e seus modelos teóricos consistem em modelos com limitações teóricas que não condizem com a realidade.

Palavras-chave: realismo; modelo teórico; objeto-modelo; PhET; atrito cinético.

ABSTRACT

In Physics teaching, simulations are used as important tools in the insertion of knowledge acquired by students. Thus, this research aims to investigate and analyze the theoretical model used in the PhET Colorado simulator for the movement of a skater on an inclined plane with friction. To carry out this investigation, the case study procedure was used, with the aim of understanding and interpreting the collected data and the critical analyzes based on the analyzed situation. To substantiate our debates, we reflected on the veracity of the PhET Colorado simulator in its use in the classroom in the teaching of Physics. Having as a theoretical contribution, Bunge (1974), with its theoretical foundations on theoretical models and realism, and Cupani & Pietrocola (2002) that address concepts about object-model. Within the scope of this research, it was possible to identify how issues related to naive realism in the use of simulations found in the PhET simulator can compromise the teaching and learning process of Physics concepts. Hence, the need for an understanding that simulations, even if important for the teaching of Physics, do not understand reality and their theoretical models consist of models with theoretical limitations that do not match reality.

Keywords: realism; theoric model; model object; PhET; kinetic friction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Interação de força entre corpo.....	24
Figura 2 -	Diagrama de força da força resultante.....	25
Figura 3 -	Aplicação da primeira Lei de Newton.....	26
Figura 4 -	Diagrama de forças da primeira lei de Newton.....	27
Figura 5 -	Relação entre a força resultante e a aceleração.....	28
Figura 6 -	Diagrama de forças.....	30
Figura 7 -	A terceira Lei de Newton do movimento.....	31
Figura 8 -	Aproximação visual de superfícies com atrito	32
Figura 9 -	Diagrama de forças em um bloco.....	34
Figura 10 -	a) descida de pessoas no plano inclinado e b) o diagrama de forças no plano inclinado.....	37
Figura 11-	Simulação Energy Skate Park.....	46
Figura 12 -	Detalhamento de todos os componentes da simulação Energy Skate Park.....	47
Figura 13 -	Barra do coeficiente de atrito cinético da simulação Energy Skate Park.....	48
Figura 14 -	Software MxMaxima calculando o coeficiente de atrito cinético do simulador com a barra na metade e no máximo.....	49
Figura 15 -	Situação 1 da simulação Energy Skate Park do simulador PhET.....	52
Figura 16 -	Situação dois (2) da Simulação Energy Skate Park do simulador PhET.....	53
Figura 17 -	Situação três (3) da Simulação Energy Skate Park do simulador PhET.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Valores aproximados dos coeficientes de atrito e cinético.....	35
Tabela 2 -	Valores aproximados dos coeficientes de atrito e cinético.....	36
Tabela 3 -	I)Valores previamente fixados do comprimento da rampa, sua altura, ângulo de inclinação. II) valores fornecidos do esqueitista pelo simulador da velocidade e do tempo. III) valor encontrado do coeficiente de atrito cinético (Cof).....	53
Tabela 4 -	I)Valores previamente fixados do comprimento da rampa, sua altura, ângulo de inclinação. II) valores fornecidos do esqueitista pelo simulador da velocidade e do tempo. III) valor encontrado do coeficiente de atrito cinético (Cof).....	54
Tabela 5 -	I)Valores previamente fixados do comprimento da rampa, sua altura, ângulo de inclinação. II) valores fornecidos do esqueitista pelo simulador da velocidade e do tempo. III) valor encontrado do coeficiente de atrito cinético (Cof).....	55
Tabela 6 -	Valores dos coeficientes de atrito cinético encontrados a partir dos dados do PhET e cálculos do WxMaxima.....	56
Tabela 7 -	Valores encontrados nas três situações propostas para análise.....	58
Tabela 8 -	Valores aproximados dos coeficientes de atrito cinético para superfícies secas	59
Tabela 9 -	Valores dos coeficientes de atrito cinético encontrados a partir dos dados do PhET e cálculos do WxMaxima.....	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1	A TEORIA REALISTA DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO	14
2.1.1	TEORIA EPISTEMOLÓGICA DE MARIO BUNGE: OBJETO-MODELO E MODELO-TEÓRICO NO ENSINO DE CIÊNCIAS	15
2.1.3	REALISMO CRÍTICO EM RELAÇÃO A REALISMO INGÊNUO.....	21
2.2	LEIS DE NEWTON DO MOVIMENTO	23
2.2.1	FORÇA E SUAS INTERAÇÕES	23
2.2.2	PRIMEIRA LEI DE NEWTON: PRINCÍPIO DA INÉRCIA	25
2.2.3	SEGUNDA LEI DE NEWTON: PRINCÍPIO DA DINÂMICA	27
2.2.4	TERCEIRA LEI DE NEWTON: PRINCÍPIO DA AÇÃO E REAÇÃO.....	30
2.2.5	FORÇA DE ATRITO.....	32
2.2.6	ATRITO ESTÁTICO E ATRITO CINÉTICO.....	33
2.2.7	PLANO INCLINADO COM ATRITO.....	37
2.3	O PhET NO ENSINO DE FÍSICA	41
3	PROPOSTA METODOLÓGICA	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1	RESULTADOS.....	51
4.2	DISCUSSÕES.....	57
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
	REFERÊNCIAS.....	64
	APÊNDICE A – CÁLCULOS DO COEFICIENTE CINÉTICO DO PhET	69
	APÊNDICE B – CÁLCULOS DO $W_{xMAXIMA}$.....	72
	ANEXO – DESVIO PADRÃO DO PhET.....	73

1 INTRODUÇÃO

A educação científica é um dos pilares da formação de cidadãos críticos e atuantes na sociedade. Sobre essa óptica, Richard Feynman (1963), físico teórico que defendeu a importância da educação científica como uma forma de despertar a curiosidade e o espírito investigativo nas pessoas, capacitando-as a compreender e analisar criticamente o mundo ao seu redor. Além desse autor, o renomado astrofísico e divulgador científico, Carl Sagan (1996) enfatizava a necessidade de uma educação científica sólida como uma ferramenta essencial para capacitar indivíduos a tomarem decisões informadas e participarem ativamente de questões sociais. Para reforçar essa importância temos também, Neil deGrasse Tyson (2017), outro cientista popular e divulgador científico contemporâneo, que destaca a importância da educação científica para desenvolver habilidades de pensamento crítico, questionamento e solução de problemas, essenciais para uma participação ativa e informada na sociedade.

Assim, o ensino de ciências tem evoluído constantemente, e, atualmente, dado o alto custo e a impossibilidade de atividades experimentais para determinados conteúdos, o uso de simulações em ambientes virtuais tem se tornado uma ferramenta cada vez mais comum para o aprendizado de conteúdos complexos. Ademais, em 2020 o uso do PhET foi bastante acentuado devido à pandemia global do COVID19, com o fechamento de escolas e centros acadêmicos muitos professores(as) utilizaram o PhET em ambientes virtuais como ferramenta didática para tornar mais lúdica e interativas as aulas que passaram a ser ofertada à distância. Nesse período conturbado em que o mundo enfrentava uma pandemia o uso do PhET foi essencial para uma aula mais interativa e palpável, muitos(as) professores(as) que não conheciam a plataforma passaram a usá-la em suas aulas, assim, o PhET foi um instrumento importantíssimo para o ensino no momento em que as aulas se resumiam a uma tela de computador, slide e um diálogo, muitas vezes monótono.

Nesse sentido, a simulação Physics Education Technology¹ (PhET) Colorado, desenvolvida pela Universidade do Colorado Boulder, tem sido uma das ferramentas mais populares entre professores e estudantes dentro do espaço educacional.

A simulação PhET Interactive Simulations é uma importante ferramenta no ensino de ciências, especialmente para a Física, já que permite aos estudantes e aos professores(as) explorar conceitos e fenômenos que não são facilmente acessíveis em um ambiente de sala de aula. Essa simulação é gratuita e pode ser usada online ou baixada para o uso offline em computadores, tablets e smartphones. Além disso, o PhET oferece uma grande variedade de simulações, que vão desde fundamentos da Física até tópicos avançados, como Física quântica e mecânica de fluidos. Nessa óptica, as simulações são vistas como recursos eficazes para a promoção da aprendizagem, uma vez que fortalecem currículos de qualidade e complementam o trabalho de bons professores (ARANTES, MIRANDA e STUART 2010).

Entretanto, é importante salientar que as simulações do PhET, envolvem equações baseadas em modelos teóricos que representam o mundo real de uma maneira simplificada e, portanto, apresentam limitações e imprecisões. É fundamental que os(as) professores(as) e estudantes tenham consciência dessas limitações, a fim de usá-la corretamente e interpretar seus resultados de forma crítica e reflexiva.

A análise crítica de simulações é essencial para garantir um ensino de ciências de qualidade. É preciso que os estudantes compreendam que a simulação não é uma fotografia fiel, mas é uma representação incompleta do mundo real e, por isso, ela pode ter limitações. Além disso, as simulações também podem levar a uma maior compreensão dos conceitos físicos envolvidos e permitir que os(as) estudantes desenvolvam habilidade de investigação científica.

¹ Fundado em 2002 pelo Prêmio Nobel Carl Wieman, o projeto PhET Simulações Interativas da Universidade do Colorado em Boulder cria simulações interativas gratuitas de matemática e ciências. As Simulações PhET baseiam-se em extensa pesquisa em educação e envolvem os alunos por meio de um ambiente intuitivo, estilo jogo, onde eles aprendem através da exploração e da descoberta.

O objetivo principal desta pesquisa é analisar a simulação “Energy Skate Park” - um esqueitista numa rampa com atrito – e identificar o modelo teórico e, portanto, as equações que regem a simulação de modo a compará-la com a realidade. Para isso, foi realizada uma análise teórica, utilizando as Leis de Newton de um objeto descendo um plano inclinado com atrito para, através dos parâmetros fornecidos pela simulação, determinar o modelo teórico que subjaz a simulação, calcular o coeficiente de atrito cinético fornecido pela mesma e fazer uma comparação com situações reais. Neste trabalho, será abordada a teoria de Mário Bunge (1977) sobre modelos teóricos e realismo, que ajudará a embasar a comparação entre a simulação e a realidade. Como veremos adiante, a teoria de Mário Bunge (1977) sobre modelos teóricos e realismo também é relevante para a compreensão das simulações. Segundo Bunge (1977), um modelo teórico é uma representação simplificada da realidade, que pode ser útil para a compreensão de conceitos complexos. No entanto, é importante que os(as) estudantes compreendam que o modelo teórico não é a realidade, e que a interpretação dos resultados obtidos nas simulações pode ser afetada por essa diferença.

Para a realização desta pesquisa, foi utilizada uma metodologia que envolve a análise crítica da simulação, a fim de comparar os resultados obtidos na simulação com a realidade, permitindo uma análise mais precisa e crítica da simulação, permitindo uma compreensão mais clara das limitações dela em relação à realidade.

Os resultados obtidos nesta pesquisa serão úteis para, tanto aprimorar o uso da simulação PhET enquanto ferramenta didática em sala de aula, como para fornecer uma base sólida para o ensino de ciências e a compreensão dos fenômenos físicos. Além disso, essa pesquisa destaca a importância da análise crítica das simulações, a fim de que os(as) estudantes possam compreender a natureza dos modelos teóricos e suas limitações na representação da realidade.

Assim, pretende-se mostrar que a simulação PhET Colorado é uma ferramenta pedagógica valiosa para o ensino de ciências, especialmente para a Física, mas é importante que ela seja usada com cautela e acompanhada de uma análise crítica dos resultados a fim de fornecer uma compreensão mais precisa e crítica, podendo levar a uma maior compreensão sobre a correlação entre teoria (simulador) e a realidade.

Dito isso, esta dissertação possui a seguinte estrutura: no segundo capítulo desta pesquisa traz a fundamentação teórica que está dividida em dois subtópicos. O primeiro dialogamos, nas seções 2.1, 2.2 e 2.3, a teoria realista do conhecimento a partir dos ensinamentos de Hessen (1999), Dummett (1978), Fraassen (1980), Brugger (1962), Bunge (1974), Cupani & Pietrocola 2002, Pietrocola (1999), Abbagnano (1998), Robinson (1994). O segundo, nas seções 2.4 e 2.5, traz os conceitos de movimento de Isaac Newton e os conceitos de atrito no plano inclinado.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia usada no processo de investigação deste trabalho. Na qual, foi vivenciado o caminho a partir da análise crítica do simulador PhET, analisando os parâmetros trazidos pelo simulador, como: a velocidade, o tempo e dos efeitos às causas encontramos o valor do coeficiente de atrito cinético para comparar de forma análoga com situações com objetos concretos. No quarto capítulo traz os resultados e discussões construídas a partir dos dados utilizados na pesquisa, conforme citados no parágrafo anterior. Por fim, apresentamos as conclusões da questão, *as simulações de Física do simulador PhET descrevem a realidade apresentada?*, que inquietaram a elaboração desta pesquisa, bem como, nossas reflexões a partir do desafio da questão da pesquisa e seu objetivo geral, abrindo espaço para novas discussões referente ao tema.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A TEORIA REALISTA DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO

Para alguns filósofos o conceito de realismo é dado em pressupostos parcialmente epistemológicos. Johannes Hessen propõe que por *realismo natural* (ou *ingênuo*) compreendamos preceitos segundo os quais “os objetos correspondem exatamente aos conteúdos perceptivos” (Hessen 1999, p. 54). Assim, para o realismo natural o que se compreende como real é aquilo que podemos vislumbrar no mundo que vivemos. Ademais, Brugger (1962) traz sua contribuição para a compreensão do realismo natural: “no conhecimento do mundo exterior, nenhum problema ainda é encarado e os dados sensoriais são tidos pura e unicamente como reais” (BRUGGER, 1962, p. 446).

Contrariamente ao realismo natural, temos o realismo crítico. Como pontua o autor Michael Dummett (1978), de forma geral, o realismo, seja natural ou crítico, consiste em proposição de valores verdadeiros e falsos, sustentada pela ideia de que o mundo externo é real, independente da mente humana a ciência pode fornecer representações aproximadas e ideais desse mundo. Ademais, ele faz uma crítica ao antirrealismo a partir da compreensão de enunciados:

O realismo define-se como a ideia de que enunciados de classes em disputa têm um valor de verdade objetivo, isento dos nossos meios de conhecê-lo: eles são verdadeiros ou falsos em virtude de uma realidade presente apesar de nós. A posição antirrealista sustenta que tais enunciados devem ser compreendidos apenas com referência ao tipo de coisas que tomamos como evidência para uma declaração dentro de tais classes. O realista sustenta que o significado desses enunciados não está diretamente atrelado ao tipo de evidência em seu favor, mas ao modo de sua determinação como verdadeiro ou falso em virtude de situações cuja veracidade não é dependente de qualquer indício que tenhamos a seu favor. O antirrealista afirma, ao contrário, que os significados dos enunciados são atrelados diretamente ao que conta como evidência em seu favor; de modo que o enunciado verdadeiro é verdadeiro somente em virtude de algo que pode ser conhecido e que conta como indicador em prol de uma verdade. (DUMMETT, 1978, p. 146).

Assim, Dummett conceitua que no realismo os enunciados ou objetos têm um valor de verdade independente das formas que podemos conhecê-lo, essa realidade pode ir além dos nossos sentidos e crítica o antirrealismo quanto a maneira de compreensão dos enunciados, pois para o antirrealismo os enunciados devem corresponder a alguma evidência em relação a fatos que verifiquem sua veracidade concreta. Depreende-se, portanto, que o objetivo do realismo científico é fornecer teorias do mundo que vivemos acreditando em sua veracidade: “A ciência objetiva em nos fornecer, em suas teorias, uma estória completamente verdadeira de como é o mundo real; e a confirmação de uma teoria científica implica na convicção de que ela é verdadeira” (van Fraassen 1980, p. 8). Assim, se por um lado a crença de que há coisas reais independentes da consciência humana permeia o realismo todo, as limitações das teorias científicas enquanto ferramentas capazes de descrever a realidade (estórias), faz do realismo crítico a corrente epistemológica pertinente para uma postura ativa perante as simulações. Assim, detalharemos essa corrente filosófica, valendo-se da teoria de Mario Bunge, conforme descrita na seção a seguir.

2.1.1 TEORIA EPISTEMOLÓGICA DE MARIO BUNGE: OBJETO-MODELO E MODELO TEÓRICO NO ENSINO DE CIÊNCIAS

A teoria de Mario Bunge (1974), sendo o primeiro filósofo da ciência sul-americano de reconhecimento mundial a ter formação científica, tornou-se um dos mais relevantes defensores do realismo científico crítico (MATTHEWS, 2012), trata de uma filosofia da ciência que enfatiza a importância do realismo científico (ou realismo crítico) e do conceito de modelos teóricos na busca por uma compreensão objetiva do mundo real, dando aporte científico para formulação de teorias e de leis que pudessem explicar os eventos naturais. Por exemplo, a partir da utilização de modelos teóricos, a Física pode provar fenômenos encontrados no mundo real e formular leis e teorias que mudaram o curso da ciência. Pietrocola enfatiza que para Bunge, todos os procedimentos da ciência, especialmente a formulação de teorias e o teste

experimental das mesmas, implicam essa convicção e ficariam privadas de significados sem ela (CUPANI & PIETROCOLA, 2002, p. 101).

O realismo científico de Bunge (1974) se baseia na ideia de que há um mundo real que é independente da mente humana e que ele pode ser conhecido objetivamente através da ciência, “a prática não estabelece a verdade de preposição alguma, senão somente a eficácia de regras e receitas para atuar” (BUNGE, 1985b, p. 168). Ele argumenta que as teorias científicas devem ser interpretadas como representações do mundo, e não como meras construções mentais. Isso significa que as teorias científicas devem ser avaliadas com base na sua capacidade de corresponder aos fatos empíricos observados, ou seja, modelos mais “reais” possíveis. “Assim, aparenta urgente incluir a construção do real como objeto do ensino científico, não nos padrões determinados pelo empirismo ingênuo, mas salientando o conhecimento desenvolvido pela ciência como esboço do mundo real” (PIETROCOLA, 1999). Bunge afirma que:

O realismo científico não é uma fantasia elaborada por filósofos desligado da realidade. Pelo contrário, é a epistemologia específico à investigação científica e técnica. Com efeito, esta equivale em estudar e transformar o mundo concreto, não em construir mundos imaginários” (BUNGE, 1985a, p. 55). Pois se não crêssemos na veracidade do mundo externo nem na oportunidade de entendê-lo, mesmo que em parte, não nos esforçaríamos por fazer teorias nem experimentos, ou ao menos não alcançaríamos nenhum êxito em nossa exploração. O êxito da ciência e da tecnologia é a melhor garantia do realismo e a melhor refutação do idealismo em suas diversas versões (BUNGE, 1985b, p. 167).

Ademais, Bunge (1974) também desenvolveu o conceito de realismo crítico, que se refere à ideia de que o conhecimento científico é provisório e sujeito a revisão. Bunge (1974) explica que os cientistas devem estar abertos à possibilidade de que suas teorias sejam revisadas ou refutadas com base em novos dados empíricos. O realismo crítico reconhece que a ciência é uma atividade humana e os cientistas estão sujeitos a limitações e erros.

Os principais conceitos tratados na teoria de Bunge (1977) são referentes a objeto-modelo e a modelo teórico que servem de suporte para o desenvolvimento da

ciência e sua evolução. Segundo Schroeder (2009) os objetos físicos do mundo representam de forma basilar a compreensão de concepções científicas. Bunge conceitua em duas categorias principais o que seria “modelo”. Inicialmente, a primeira categoria trata do referente epistemológico. Nesse sentido, Bunge (1977) explica que os saberes teóricos desenvolvidos pela ciência não se referem de modo direto a objetos concretos, mas, em contrapartida os conceitos que descrevem os objetos concretos que se quer conhecer, chamando-o assim de objetos-modelo (BUNGE, 1977). Além disso, o objeto-modelo “se estabelece em imagens conceituais dos componentes relativos a um sistema concreto que se deseja analisar por meio de uma teoria geral” (PIETROCOLA, 1999), bem como, Para Bunge (1974), a teoria não irá se referir à realidade de forma concreta a teoria lida com o chamado “objeto-modelo”, o qual é uma representação convencional, ainda que não arbitrária, que se aproxima da realidade” (BUNGE, 1974, p. 25 e 35, apud CUPANI e PIETROCOLA, 2002, p. 109). Deste modo, a elaboração de objetos-modelo serve para fazer representações de objetos concretos ou fenômenos naturais que consigam explicar, com aproximações, eventos reais. Inicialmente, “removendo” características que torna as observações mais simples e um entendimento mais acessível. Segundo Bunge (1974, p.13, 14), nesse modo de elaboração:

Retiram-se os traços comuns de indivíduos propositalmente distintos, reunindo-os em espécies (classes de equivalência). [...] É o surgimento do objeto modelo ou modelo conceitual de uma coisa ou, de um fato. É necessário, em síntese, imaginar um objeto composto de certas especificidades que, frequentemente, não serão sensíveis. Sabe-se que o modelo conceitual negligenciará numerosos traços da coisa e afastará as características que individualizam os objetos. Superfícies sem atrito, massa pontual, dentre outros, são exemplos de objetos-modelo normalmente encontrados em física.

Os objetos-modelo são úteis porque permitem que os cientistas realizem experimentos e testem hipóteses sem a necessidade de manipular diretamente os objetos reais “a explicação científica não constitui uma cópia do mundo real, porém uma reprodução simbólica sempre imprecisa, mas aprimorada, da mesma” (CUPANI & PIETROCOLA, 2002, p. 124). No entanto, ele adverte que os objetos-modelo são apenas aproximações do mundo real e, portanto, estão sujeitos a erros e limitações

“enquanto objetos de conhecimento, os objetos físicos são reconstruídos como resultado do trabalho humano e com base em (i) a sua aparência, (ii) a nossa manipulação deles, e (iii) a nossa invenção e consequente contratação de modelos dos mesmos...” (Bunge, 1969. p. 943). Entretanto, os objetos-modelo precisam estar relacionados a teorias gerais para obter o que Bunge chama de modelo teórico. Bunge (1974, p. 16), tal como, afirma:

Não basta esquematizar um líquido como uma rede de moléculas ou um cérebro como uma rede de neurônios: é preciso descrever tudo isso em detalhe e conforme as leis gerais conhecidas. Em outros termos, é necessário construir uma teoria do objeto modelo – em suma, um modelo teórico.

Chegando assim na segunda categoria, os modelos teóricos ou teoria específica que são considerados fundamentais, pois é a partir delas que os cientistas formulam hipóteses, desenvolvem teorias e realizam experimentos “... é um conjunto hipotético-dedutivo que se refere a um objeto-modelo” (Bunge, 1974, p. 16) bem como “..., é obtido pela adjunção de suposições subsidiárias a uma estrutura... cobrindo uma espécie em vez de um gênero extenso de sistemas físicos”. (Bunge 1973, p. 53).

Assim, a partir de um evento ou fato que possa ser incorporado a uma teoria temos o que Bunge (1974) chama de objeto-modelo na qual a representação desse evento ou fato produz o que Bunge (1974) chama de modelo teórico “todo fato pode ou poderia explicar-se em última instância por um conjunto de enunciados (e um conjunto de dados empíricos)” (Bunge 1969. p. 405). Enfatizando ainda mais esse conceito, Pietrocola (2002) ressalta que “a teoria é capaz de fornecer a explicação de um objeto-modelo, produzindo um modelo teórico da situação enfocada”. Por fim, segundo Silva (2018) os objetos-modelo são construídos a partir da observação crítica e suposições acerca dos objetos reais.

Bunge traz a relação entre essas duas categorias da seguinte forma:

Quando hipóteses e dados particulares inerentes a um corpo particular [objeto-modelo] são relacionados à mecânica clássica e à teoria clássica da

gravitação [teorias gerais], forma-se uma teoria especial [modelo teórico] sobre esse corpo. Temos, desta forma, teorias lunares, teorias sobre Marte, teorias sobre Vênus, e assim por diante. (Bunge, 1973, p; 54)

Desse modo, o conjunto relacional das categorias compreende a teorização dos fenômenos naturais ou fatos que a ciência tenta explicar para fornecer objeto-modelo idealizado que se aproxime do objeto concreto, mas não de forma absoluta, tirando características pela qual se acha desnecessária. Por fim, esse objeto-modelo corresponde a uma teoria específica chamada de modelo teórico Bunge (1977). Deste modo, Bunge (1974) enfatiza a importância do modelo teórico e do realismo científico na busca por uma compreensão objetiva do mundo natural. Ele argumenta que as teorias científicas devem ser avaliadas com base na sua capacidade de corresponder aos fatos empíricos observados e que os objetos-modelo são aproximações do mundo real sujeitas a erros e limitações. O realismo crítico reconhece a provisoriidade do conhecimento científico e a necessidade de revisão com base em novos dados empíricos, enquanto o realismo natural (ou ingênuo) o é considerado uma ilusão que pode levar a uma abordagem dogmática e inflexível da ciência.

As concepções epistemológicas de Bunge sobre o realismo trazem implicações importantes para o ensino das ciências. Nesse sentido, os fundamentos da prática docente como um processo de construção demandam um conjunto de relações entre os(as) professores(as) e os(as) estudantes, decorrendo, assim, uma troca de conhecimento mediada inicialmente pelo(a) professor(a) e transformada pelo processo de aprendizagem através do objeto-modelo e do modelo teórico. Essa relação possibilita que os sujeitos possam modificar e serem modificados, possibilitando a transformação no processo de ensino e aprendizagem.

É necessário, principalmente, e aí já vai um destes saberes fundamentais, que o formando, desde o início mesmo de sua experiência formadora, declarar-se como sujeito também do desenvolvimento do saber, se convença decididamente de que ensinar não é *transferir conhecimento*, mas criar as possibilidades para a sua produção ou a sua construção. (FREIRE, 2014, p. 24)

Freire traz a importância de um ensino dialógico entre o docente e o discente para haver uma construção no processo de ensino-aprendizagem, esse dialogar

torna-se indispensável quando pensado no fazer científico já que é através do diálogo que se pode ser apontados e refletidos as implicações de cada parte do processo. Assim, a teoria de Bunge sobre levar a ciência pelo caminho de um realismo crítico que mostre a limitação humana nas percepções dos objetos concretos e dos fenômenos naturais atrelada aos ensinamentos de Freire para acontecer uma construção nesse processo de ensino são fundamentais para uma prática pedagógica voltada para uma educação libertadora e reflexiva.

Estabelecendo, portanto, uma troca na construção do conhecimento. Pois, o ensino de ciências, muitas vezes, é estruturado a partir de concepções equivocadas quanto o fazer científico, conceitos como: verdade, neutralidade do pesquisador, idealização experimental, etc. Assim, o estudo epistemológico do conhecimento científico torna-se indispensável nas aulas de ciências para a transformação de sujeitos críticos, tanto para o comportamento do mundo real ao seu redor, quanto para o mundo digital que se ergue e suas possibilidades educacionais, em particular as simulações em ciências que estão disponíveis na rede.

Ademais, torna-se relevante refletirmos se essas dificuldades encontradas no ensino estariam atreladas aos tipos de modelos teóricos compartilhados no processo educacional? E de que maneira deveria ser ensinado um objeto-modelo para que o aluno(a) tivesse clareza do papel dos objetos-modelo na ciência, sendo consciente dos seus limites nas práticas científicas.

Para o primeiro questionamento, é possível refletirmos que, talvez, parte das dificuldades no ensino estão atrelados a falta de esclarecimento a respeito dos modelos teóricos encontrados nos livros, pois cada vez mais estudantes acreditam que os objetos-modelo com seus modelos teóricos são uma cópia fiel da realidade, passível de representação exata da realidade, seja de um objeto concreto, ou seja de um fenômeno natural, o que emerge a um entendimento ingênuo por parte de estudantes a respeito do funcionamento do mundo ao seu redor. Porém, para o segundo questionamento, poderíamos refletir no seguinte sentido, o ensinamento de um objeto-modelo deveria estar atrelado a sua totalidade, considerando no diálogo que um objeto-modelo é uma representação do mundo concreto e por isso para seu desenvolvimento, muitas vezes, faz necessário retirar algumas características dos objetos concreto ou fenômenos naturais para simplificar o entendimento de

determinada análise e conseguir chegar no objetivo de estudo. Assim, estudantes entenderiam a limitação da ciência em reproduzir objetos concreto e fenômenos naturais, mas que essa é a maneira que trás a possibilidade de entender o funcionamento do mundo e o desenvolvimento da ciência e da sociedade no geral.

2.1.3 REALISMO CRÍTICO EM RELAÇÃO AO REALISMO INGÊNUO

O realismo crítico e o realismo ingênuo são duas abordagens filosóficas que buscam entender a relação entre o mundo real e a nossa percepção dele. Embora ambos sejam chamados de "realismo", eles têm diferenças significativas em suas visões sobre a natureza da realidade. Segundo Abbagnano:

O realismo ingênuo é definido pela ideia “segundo o qual o objeto atual ao conhecimento é uma essência, ao passo que a existência nunca é aprendida imediatamente ou intuída, contudo, apenas confirmada, posta ou reconhecida por exigências emocionais ou práticas” (ABBAGNANO, 1998, p. 835)

O realismo ingênuo é a visão de que o mundo é exatamente como o percebemos, ou seja, que nossas percepções são uma representação direta e precisa da realidade. Segundo Robinson, “o realista ingênuo acredita na consciência direta do mundo externo e toma essa consciência como algo básico” (1994, p.120). De acordo com essa visão, tudo o que existe é aquilo que podemos ver, tocar, sentir ou de alguma forma detectar diretamente com nossos sentidos. Portanto, o mundo é uma realidade objetiva e independente da nossa percepção.

Por outro lado, o realismo crítico reconhece que nossas percepções são mediadas por nossos sentidos e por nossas estruturas cognitivas, o que pode distorcer ou limitar a nossa compreensão da realidade. Nessa visão, ainda há uma realidade objetiva, mas ela é percebida por um filtro subjetivo influenciado por nossas experiências, crenças e expectativas. Assim, embora haja uma realidade independente, nossa percepção dela é sempre parcial e limitada. De acordo com

Hessen (1999, p.54), é esse tipo de realismo que fornece ao sujeito a capacidade de perceber os modelos teóricos (objetos) com propriedades idealizadas. Isso ocorre porque nem todas as propriedades dos objetos reais aos quais os modelos teóricos se referem estão representadas na consciência do sujeito que os percebe. Segundo Hessen, o realismo crítico é:

Definido como crítico por amparar-se em reflexões crítico-epistêmicas. Segundo ele, nem todas as propriedades existentes nos conteúdos perceptivos concorda com às coisas. Muito pelo contrário, as propriedades ou qualidades da coisa apreendidas por nós apenas por meio de um sentido, como cores, sons, odores, sabores, etc., existem apenas e tão-somente em nossa consciência. Elas aparecem enquanto certos incentivos externos agem sobre nossos órgãos sensíveis. (HESSEN, 1999, P. 54)

Assim, Hessen nem sempre nossas percepções concordaram com os objetos concretos a nosso redor, pois existe uma limitação nos nossos sentidos quanto a determinados objetos ou eventos naturais, portanto, nem todos os objetos concretos serão percebidos pelos sentidos humanos.

Por outro lado, Bunge (1974) critica o realismo ingênuo, sendo a ideia de que a ciência pode fornecer uma compreensão completa e infalível do mundo. Ele argumenta que o realismo ingênuo é uma ilusão, pois a ciência é limitada pela natureza humana e pelas limitações técnicas e metodológicas. Por exemplo, a ilusão de ótica mostra como nossos olhos podem ser enganados, levando-nos a perceber algo que não está presente ou a interpretar erroneamente algo que está. Além disso, ele adverte que o realismo ingênuo pode levar a uma abordagem dogmática e inflexível da ciência, ignorando as limitações e incertezas inerentes à atividade científica.

Acreditamos que, por exemplo, o realismo ingênuo pode induzir estudantes a achar que simulações computacionais, através da sua comunicação visual, são cópias fiéis da realidade e não aproximações onde modelos teóricos incompletos são trazidos por tais simulações. Sem uma visão crítica, acreditamos que simuladores como o PhET, podem servir como ferramentas para a construção de realistas ingênuos. Além disso, fotos, desenhos, elementos que possam aparecer em materiais didáticos

diversos podem também induzir ao realismo ingênuo, assim, é importante que se tenha uma discussão reflexiva sobre os materiais utilizados no ensino.

Portanto, o realismo ingênuo e o realismo crítico representam duas visões distintas sobre a natureza da realidade como a percebemos. Enquanto o primeiro assume que nossas percepções são uma representação direta e precisa da realidade, o segundo reconhece que nossas percepções são mediadas por nossos sentidos e por nossas estruturas cognitivas, o que pode distorcer ou limitar nossa compreensão da realidade. Ambas as abordagens têm seus defensores e críticos, e a questão da relação entre a percepção e a realidade continua sendo objeto de debate na filosofia. No que segue, dado que optamos por uma simulação do PhET onde prevalece a mecânica clássica, faremos nas próximas seções uma breve digressão sobre a mecânica Newtoniana, aplicando-a ao problema de um bloco descendo em um plano inclinado.

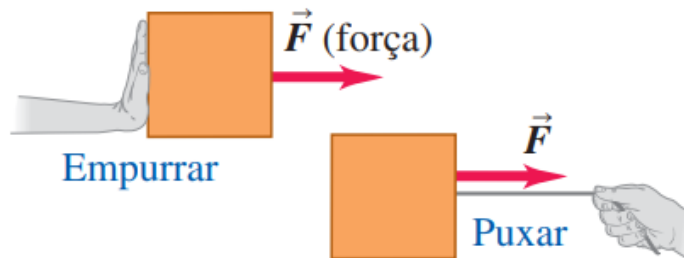
2.2 LEIS DE NEWTON DO MOVIMENTO

A teoria das três Leis de Newton, também conhecida como Leis do movimento, é um conjunto de princípios fundamentais que descrevem o comportamento dos objetos em movimento e a interação entre eles. Essas leis foram formuladas pelo físico inglês Isaac Newton e seus colaboradores no século XVII – mesmo que os livros não tragam os nomes das pessoas que colaboraram com muitas teorias, devemos ter em mente que cientistas como Newton não trabalharam sozinhos ou suas ideias podem ter vindo de outro teórico que no momento do passado não conseguiu provar suas ideias a respeito de determinado assunto em suas teorias, para não entrarmos em um realismo ingênuo de acreditar que teóricos sozinhos criaram suas teorias e leis – e representam um marco na história da Física moderna.

2.2.1 FORÇA E SUAS INTERAÇÕES

Força é uma grandeza física que representa a capacidade de um corpo em modificar o estado de repouso ou movimento de outro corpo (FIGURA 1). Ela é uma medida da interação entre dois corpos e pode ser descrita em termos de sua intensidade, direção e sentido. A força é medida em unidades de newton (N) no Sistema Internacional de Unidades (SI) e é representada por um vetor, indicando a direção e sentido da força. Assim, segundo Newton, a força é uma forma de interação entre dois corpos ou entre o corpo e seu ambiente.

Figura 1 Interação de força entre corpos.



Fonte: YOUNG, FREEDMAN, 2016, p. 111.

As forças podem ser classificadas em diversas categorias, como forças gravitacionais, forças eletromagnéticas, forças de contato, entre outras. A compreensão da força é fundamental em todos os campos da física, como na mecânica, na termodinâmica, na eletricidade e no magnetismo.

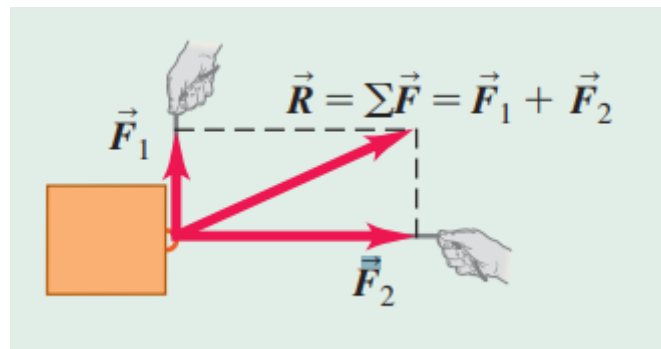
Força resultante é a força líquida resultante da soma vetorial de todas as forças atuantes sobre um objeto ou sistema. É a força que produz o mesmo efeito sobre o objeto que todas as outras forças juntas. Em outras palavras, é a força que produz o movimento resultante de um objeto ou mantém um objeto em equilíbrio estático.

Em símbolos,

$$\vec{R} = \sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \cdots + \vec{F}_N \quad (1)$$

Sendo $\vec{R}$ o vetor força resultante e $\sum \vec{F}$ o somatório das forças que age sobre um corpo. Representação das forças em diagrama na figura (2) abaixo:

Figura 2 Diagrama de força da força resultante



Fonte: YOUNG, FREEDMAN, 2016, p. 157.

A figura 2 acima representa a partir da teoria do realismo baseada nos ensinamentos de Bunge a representação de um objeto-modelo para um bloco que está sendo arrastado com uma determinada força e não se leva em consideração, por exemplo, o atrito entre o bloco e a superfície, a massa da corda, o atrito entre a mão e a corda entre outras características.

2.2.2 PRIMEIRA LEI DE NEWTON: PRINCÍPIO DA INÉRCIA

A primeira lei de Newton, também conhecida como lei da inércia, afirma que um objeto em repouso tende a permanecer em repouso e um objeto em movimento retilíneo e uniforme tende a permanecer em movimento com a mesma velocidade e na mesma direção, a menos que uma força externa seja aplicada a ele (FIGURA 3). Essa lei é uma descrição da tendência natural dos objetos de resistir a mudanças em

seu estado de movimento e é fundamental para entender o movimento dos objetos em nosso universo.

Figura 3: Aplicação da primeira Lei de Newton



Fonte: Midjourney

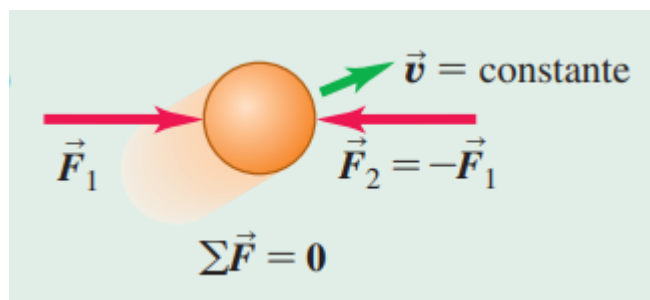
A representação da imagem acima é definida pelo enunciado da primeira lei de Newton. Bem como, a força resultante sobre um corpo é igual a zero, com uma velocidade constante (que pode ser nula) e aceleração nula em uma trajetória retilínea.

Em símbolos,

$$\sum \vec{F} = 0 \quad (2)$$

Um corpo está em equilíbrio quando a soma vetorial de todas as forças atuando sobre ele é igual a zero. Isso significa que as forças que agem no corpo se equilibram, resultando em ausência de movimento ou em um movimento com velocidade constante. Em outras palavras, não há aceleração líquida no corpo. Representação das forças em diagrama na figura (4):

Figura 4: Diagrama de forças da primeira lei de Newton.



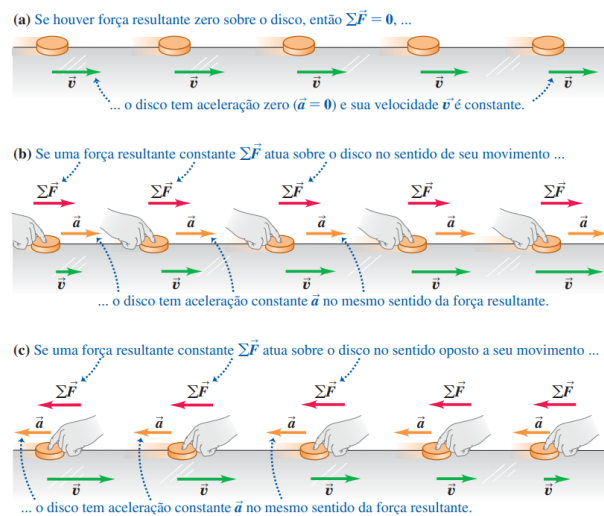
Fonte: YOUNG, FREEDMAN, 2016, p. 157.

Na figura acima é representado o diagrama de forças que atuam sobre um corpo, em que as forças 1 e 2 estão em equilíbrio e, portanto, o corpo encontrasse em inércia.

2.2.3 SEGUNDA LEI DE NEWTON: PRINCÍPIO FUNDAMENTAL DA DINÂMICA

A segunda lei de Newton, figura (5), afirma que a força aplicada a um objeto é igual à massa desse objeto multiplicada pela sua aceleração. Em outras palavras, quanto maior a força aplicada a um objeto, maior será a sua aceleração. Essa lei estabelece uma relação entre a força e o movimento de um objeto.

Figura 5: Relação entre a força resultante e a aceleração.



Fonte: YOUNG, FREEDMAN, 2016, p. 111.

Newton sintetizou todas essas relações em uma única formulação, denominada segunda lei de Newton do movimento, a força que atua em um corpo é igual ao produto da massa do corpo pelo vetor aceleração, sendo o sentido e a direção da aceleração iguais a da força resultante.

Newton expressou a segunda lei inicialmente em termos do momento, $\vec{p} = m\vec{v}$: a qual a taxa de variação com o tempo do momento de uma partícula é igual à força resultante que atua sobre uma partícula com a mesma orientação da força resultante.

$$\vec{F}_R = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (3)$$

A equação 3 afirma que a força resultante $\vec{F}_R$ aplicada a uma partícula faz variar o momento $\vec{p}$ da partícula.

Substituindo na equação 3 $\vec{p}$ pelo seu valor, $\vec{p} = m\vec{v}$, obtemos, para uma massa m constante,

$$\vec{F}_R = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt} (m\vec{v}) = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}.$$

Assim, as relações $\vec{F}_R = d\vec{p}/dt$ e $\vec{F}_R = m\vec{a}$ são expressões equivalentes da segunda lei de Newton para uma partícula.

A força resultante e a aceleração são grandezas diretamente proporcionais, isto é, quanto maior a força aplicada em um corpo maior será a sua aceleração. Bem como, quanto menor for a força aplicada, menor será sua aceleração.

A massa e a aceleração, por outro lado, são grandezas inversamente proporcionais, assim dizendo, quanto menor for a massa do corpo maior será a sua aceleração, e quanto maior sua massa menor será a aceleração associada ao corpo.

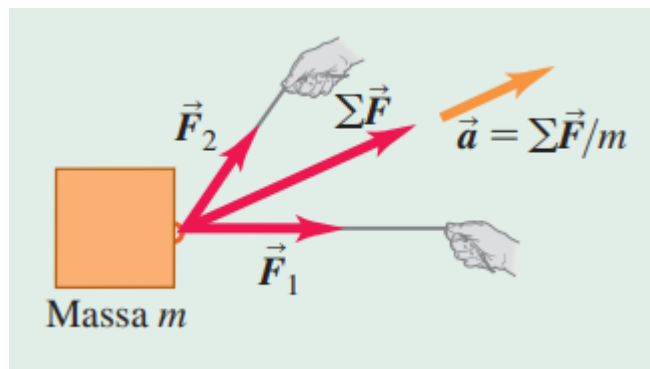
Em símbolos,

$$\vec{a} = \frac{\Sigma \vec{F}}{m}, \text{ e} \tag{4}$$

$$m = \frac{\Sigma \vec{F}}{\vec{a}} \tag{5}$$

Representação das forças em diagrama na figura (6):

Figura 6: Diagrama de forças.



Fonte: YOUNG, FREEDMAN, 2016, p. 157.

A figura 6 representa o diagrama de força relacionado a ideia de massa e inércia em um corpo.

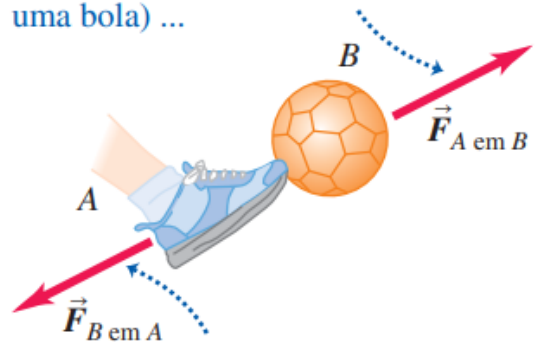
2.2.4 TERCEIRA LEI DE NEWTON: PRINCÍPIO DA AÇÃO E REAÇÃO

A terceira lei de Newton, diz que quando um corpo A efetua uma força sobre um corpo B, por sua vez o corpo B efetua uma força sobre o corpo A. Essas duas forças atuantes no corpo tem o mesmo módulo, a mesma direção e sentidos opostos. Em outras palavras, quando um objeto exerce uma força sobre outro objeto, o segundo objeto reage com uma força de mesma intensidade e direção, mas em sentido contrário. Essa lei descreve a natureza simétrica das forças na natureza e é fundamental para entender a dinâmica dos sistemas físicos.

Diagrama de forças representado abaixo na figura (7):

Figura 7: A terceira Lei de Newton do movimento.

Quando um corpo A exerce uma força $\vec{F}_{A \text{ em } B}$ (por exemplo, um pé chuta uma bola) ...



... o corpo B necessariamente exerce uma força $\vec{F}_{B \text{ em } A}$ (bola chuta de volta no pé).

As duas forças têm o mesmo módulo e a mesma direção, mas sentidos opostos:
 $\vec{F}_{A \text{ em } B} = -\vec{F}_{B \text{ em } A}$.

Fonte: YOUNG, FREEDMAN, 2016, p. 128.

Em símbolo,

$$\vec{F}_{A \text{ em } B} = -\vec{F}_{B \text{ em } A} \quad (6)$$

Assim, o corpo A exerce uma força sobre o corpo B que por sua vez exerce uma força de mesma intensidade, mas em direção oposta, sobre o corpo A (FIGURA 4). Essas forças são chamadas de ação e reação e sempre atuam em corpos diferentes, obedecendo ao princípio de conservação do momento linear que é o produto da massa pela velocidade da partícula.

Essas três leis de Newton fornecem uma descrição completa do comportamento dos objetos em movimento e são aplicáveis em uma ampla variedade

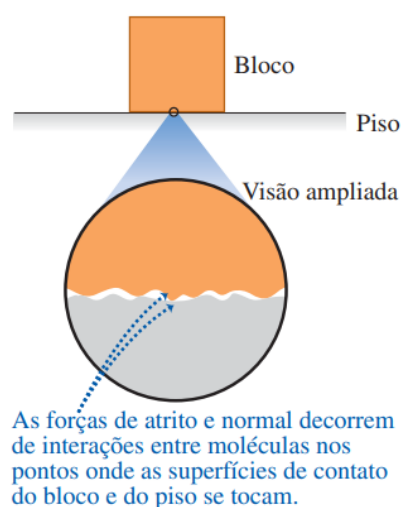
de situações. Elas são utilizadas para prever o movimento dos objetos em sistemas complexos, desde a queda de um objeto até a trajetória de um foguete no espaço. As leis de Newton continuam a ser estudadas e aplicadas em diversas áreas do conhecimento, incluindo a engenharia, a biologia e a astronomia.

Em resumo, a teoria das três leis de Newton é uma das mais importantes da Física, fornecendo uma base sólida para entender o comportamento dos objetos em movimento. Essas leis são aplicáveis em uma ampla variedade de situações e fornecem uma descrição precisa da dinâmica dos sistemas físicos. O legado de Newton continua a influenciar a ciência e a tecnologia até hoje, e sua obra permanece como um marco na história da física e do pensamento científico.

2.2.5 FORÇA DE ATRITO

A força de atrito, figura (8), é um tipo de força resistiva que se opõe ao movimento relativo entre duas superfícies em contato. É uma força fundamental na física com uma ampla variedade de aplicações práticas em nossa vida diária.

Figura 8: Aproximação visual de superfícies com atrito.



Fonte: YOUNG, FREEDMAN, 2016, p. 157.

O atrito ocorre devido à interação entre as moléculas das superfícies em contato. Quando duas superfícies são colocadas em contato e uma força é aplicada para tentar movê-las uma em relação à outra, as moléculas na superfície superior começam a interagir com as moléculas na superfície inferior. Essa interação resulta em uma força de atrito que se opõe ao movimento relativo das superfícies. A força de atrito pode ser dividida em dois tipos principais: estático e cinético, veremos a diferença entre eles.

2.2.6 ATRITO ESTÁTICO E ATRITO CINÉTICO

A força de atrito estático é a força necessária para iniciar o movimento relativo entre as superfícies em contato. As forças de atrito também podem atuar quando não existe movimento relativo, por exemplo, um objeto arrastado em uma superfície, ela pode não se mover porque o solo exerce uma força igual e contrária sobre ela. Essa força denomina-se força de atrito estático.

Em símbolo,

$$\vec{f}_E = \mu_E \vec{N} \quad (7)$$

Onde $\vec{f}_E$ é a força de atrito entre as superfícies, μ_E é uma constante definida como coeficiente de atrito estático, quanto mais polida for a superfície menor será o valor do coeficiente de atrito, e $\vec{N}$ a força normal de contato.

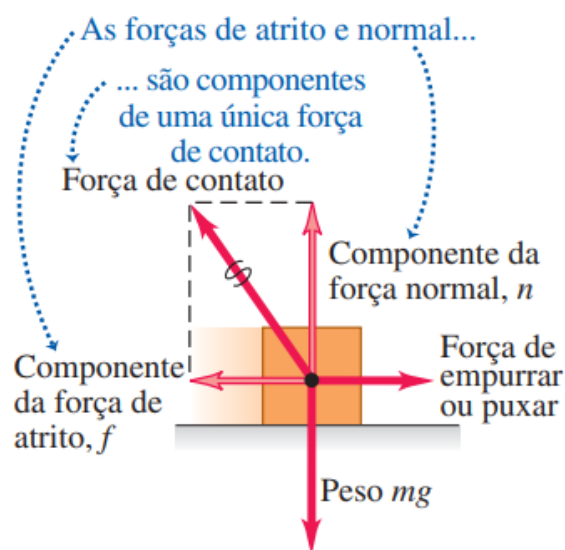
Enquanto a força de atrito cinético é a força que se opõe ao movimento relativo das superfícies, ou seja, “o tipo de atrito que atua quando um corpo está deslizando sobre uma superfície é denominado força de atrito cinético c” (YOUNG,

Em símbolos,

$$\vec{f}_c = \mu_c \vec{N} \quad (8)$$

Em que $\vec{f}_c$ é a força de atrito entre as superfícies, μ_c é uma constante definida como coeficiente de atrito cinético, quanto mais polida for a superfície menor será o valor do coeficiente de atrito, e $\vec{N}$ a força normal de contato. Diagrama de forças em um bloco representado na afigura (9) abaixo:

Figura 9: Diagrama de forças em um bloco.



Fonte: YOUNG, FREEDMAN, 2016, p. 157.

A força de atrito estático é geralmente maior que a força de atrito cinético, tabela (1), porque as moléculas nas superfícies em contato estão em uma posição relativamente estável e precisam ser perturbadas para que o movimento comece. Isso requer mais energia e, portanto, uma força maior. Uma vez que o movimento começa, a força de atrito cinético é geralmente menor, porque as moléculas nas superfícies já

estão em movimento relativo e a força necessária para mantê-las em movimento é menor.

Tabela 1: valores aproximados dos coeficientes de atrito estático e cinético.

Materiais	Coeficiente de atrito estático, μ_s	Coeficiente de atrito cinético, μ_c
Aço com aço	0,74	0,57
Alumínio com aço	0,61	0,47
Cobre com aço	0,53	0,36
Latão com aço	0,51	0,44
Zinco com ferro fundido	0,85	0,21
Cobre com ferro fundido	1,05	0,29
Vidro com vidro	0,94	0,40
Cobre com vidro	0,68	0,53
Teflon [®] com Teflon [®]	0,04	0,04
Teflon [®] com aço	0,04	0,04
Borracha com concreto (seco)	1,0	0,8
Borracha com concreto (úmido)	0,30	0,25

Fonte: YOUNG, FREEDMAN, 2016, p.158.

A tabela acima apresenta alguns valores específicos dos coeficientes de atrito estático e cinético quantificados e trazidos pelo livro de física de Young para fazermos uma comparação com os resultados encontrados neste trabalho, sendo característico de cada interação entre as superfícies. O coeficiente de atrito estático tem seu valor maior do que o coeficiente de atrito cinético devido à dificuldade de mover um corpo que se encontra em movimento inercial, repouso, assim o coeficiente de atrito cinético tem um valor menor graças ao movimento constante no corpo.

Tabela 2: valores aproximados dos coeficientes de atrito estático e cinético.

TABLE 5–1 Coefficients of Friction[†]		
Surfaces	Coefficient of Static Friction, μ_s	Coefficient of Kinetic Friction, μ_k
Wood on wood	0.4	0.2
Ice on ice	0.1	0.03
Metal on metal (lubricated)	0.15	0.07
Steel on steel (unlubricated)	0.7	0.6
Rubber on dry concrete	1.0	0.8
Rubber on wet concrete	0.7	0.5
Rubber on other solid surfaces	1–4	1
Teflon [®] on Teflon in air	0.04	0.04
Teflon on steel in air	0.04	0.04
Lubricated ball bearings	<0.01	<0.01
Synovial joints (in human limbs)	0.01	0.01

[†]Values are approximate and intended only as a guide.

Fonte: GIANCOLI, 2000, p. 113.

A tabela (2) traz mais alguns valores de coeficientes de atrito estático e cinético encontrado em livros de nível superior. Ademais, esses valores nos interessam para fazermos uma análise comparativa com os valores quantificados nessas tabelas (1e 2) com os encontrados na simulação.

Uma das principais aplicações práticas da força de atrito, por exemplo, é andar outra aplicação é em sistemas de freios de veículos. Os freios funcionam convertendo a energia cinética do veículo em energia térmica através da fricção entre as pastilhas de freio e os discos de freio. Isso reduz a velocidade do veículo e, finalmente, o para completamente.

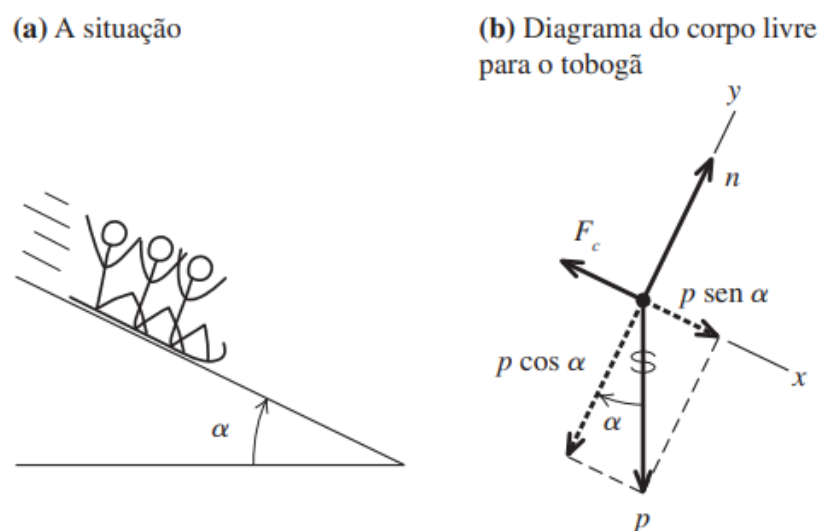
Outra aplicação importante da força de atrito é em superfícies de escalada. Quando uma pessoa escala uma parede, a força de atrito entre as solas dos seus sapatos e a parede é o que os mantém presos e evita que escorregue para baixo. Da mesma forma, a força de atrito entre as mãos do escalador e as rochas é o que permite que eles se agarrem e se movam para cima.

No entanto, a força de atrito e outras forças resistivas nem sempre são desejáveis. Por exemplo, em máquinas, o atrito pode causar desgaste e falhas precoces dos componentes. Portanto, é importante minimizar a força de atrito sempre que possível. Isso pode ser feito usando materiais com coeficientes de atrito mais baixos ou lubrificantes.

2.2.7 PLANO INCLINADO COM ATRITO

O plano inclinado, figura (10), com atrito é um sistema mecânico comum, ele consiste em um plano inclinado em que um objeto é colocado e, em seguida, é empurrado para cima ou para baixo do plano. A presença de atrito entre o objeto e o plano inclinado significa que uma força de atrito se opõe ao movimento, tornando mais difícil para o objeto se mover.

Figura 10: a) descida de pessoas no plano inclinado e b) o diagrama de forças no plano inclinado.



Fonte: YOUNG, FREEDMAN, 2016, p. 161.

Para entender melhor o plano inclinado com atrito, é útil primeiro examinar o caso sem atrito. Quando um objeto é colocado em um plano inclinado sem atrito, a única força atuando sobre ele é seu peso e a força normal, que é perpendicular ao plano inclinado. Se o objeto for empurrado com uma força suficiente para superar o peso, ele começará a subir o plano inclinado. Se a força for menor do que o peso, o objeto permanecerá em repouso, será preciso o atrito com a superfície ou descerá o plano inclinado.

No entanto, quando o atrito está presente, uma força de atrito é gerada entre as superfícies do objeto e do plano inclinado. Essa força de atrito se opõe ao movimento, tornando mais difícil para o objeto se mover para cima ou para baixo do plano inclinado. A magnitude da força de atrito depende do coeficiente de atrito entre as superfícies, determinado pelas propriedades dos materiais em contato.

Para calcular o movimento de um objeto em um plano inclinado com atrito, é necessário levar em consideração a força de atrito. A equação que descreve a força resultante em um plano inclinado com atrito é:

$$\vec{P} + \vec{N} + \vec{f} = m\vec{a} \quad (9)$$

Na figura (10) podemos ver as representações das forças peso atuando no eixo de coordenada x e y, expressando esses vetores em forma de equação, temos:

$$-\vec{P} \cos \theta \hat{y} + \vec{N} \hat{y} + \vec{P} \sin \theta \hat{x} - \vec{f} \hat{x} = m(\vec{a}_1 \hat{x} + \vec{a}_2 \hat{y}) \quad (10)$$

Para o versor $\hat{x}$, temos:

$$\vec{P} \sin \theta - \vec{f} = m\vec{a}_1 \quad (11)$$

Para o versor $\hat{y}$, temos:

$$-\vec{P} \cos \theta + \vec{N} = m\vec{a}_2 \quad (12)$$

Supondo que $m\vec{a}_2 = 0$, temos:

$$\vec{N} = \vec{P} \cos \theta \quad \text{ou} \quad \vec{N} = m\vec{g} \cos \theta \quad (13)$$

Como temos o movimento no eixo x a equação para a força de atrito será:

$$\vec{f} = \mu \vec{N} = \mu m \vec{g} \cos \theta \quad (14)$$

Logo,

$$m\vec{g} \sin \theta - \mu m \vec{g} \cos \theta = m\vec{a}_1 \quad (15)$$

Simplificando as massas que aparecem em todas as multiplicações da equação, temos:

$$\vec{g} \sin \theta - \mu \vec{g} \cos \theta = \vec{a}_1 \quad (16)$$

Ou

$$\vec{a}_1 - \vec{g} \sin \theta = -\mu \vec{g} \cos \theta \quad (17)$$

$$\mu \vec{g} \cos \theta = \vec{g} \sin \theta - \vec{a}_1 \quad (18)$$

$$\mu = \left(\tan \theta - \frac{\vec{a}_1}{\vec{g} \cos \theta} \right) \quad (19)$$

$$\mu = \left(\tan \theta - \frac{\frac{\vec{v}}{t_1}}{\vec{g} \cos \theta} \right) \quad (20)$$

Onde μ é o coeficiente de atrito cinético, cosseno e a tangente são funções trigonométricas correspondentes ao ângulo de inclinação, a $\vec{v}$ velocidade do objeto, g é a aceleração devido à gravidade, θ é o ângulo de inclinação do plano inclinado.

Se a força resultante for maior do que zero, o objeto subirá o plano inclinado. Se a força resultante for igual a zero, o objeto permanecerá em repouso. Se a força resultante for menor do que zero, o objeto descenderá o plano inclinado.

O coeficiente de atrito é um fator importante que afeta o movimento do objeto no plano inclinado. Se o coeficiente de atrito for alto, a força de atrito será maior, tornando mais difícil para o objeto se mover para cima ou para baixo do plano inclinado. Por outro lado, se o coeficiente de atrito for baixo, a força de atrito será menor e o objeto terá mais facilidade em se mover.

Em geral, a presença de atrito em um plano inclinado significa que mais força é necessária para mover um objeto do que em um plano inclinado sem atrito. Isso pode ter implicações importantes em sistemas mecânicos, como máquinas.

O estudo das leis de Newton do movimento e sua aplicação em um plano inclinado com atrito contribuirá neste trabalho nos resultados e discussões, pois foi a partir da equação (20) que encontramos o valor do coeficiente de atrito cinético apresentado na simulação *Energy Skate Park* que não é quantificado pelo simulador

PhET em que pudemos comparar com valores existentes na literatura e fazer reflexões a partir da teoria do realismo crítico de Bunge e a teoria do realismo ingênuo.

2.3 O PhET NO ENSINO DE FÍSICA

As simulações consistem em ferramentas potencialmente atrativas para o ensino e fortalecedoras da aprendizagem educacional, enriquecendo bons currículos e boas práticas de professores (ARANTES; MIRANDA; STUART, 2010). A plataforma do simulador PhET, por exemplo, vem sendo utilizada desde sua criação no ano de 2001 até os tempos atuais, por professores(as) e alunos(as) em diversos níveis e categorias de ensino. A literatura sobre o PhET possui trabalhos que englobam as áreas da educação básica (MONTESUMA E OLIVEIRA, 2020) e da educação superior (N. STEM et al., 2022), tanto na modalidade presencial (LABOR e OLIVEIRA, 2022) quanto o ensino à distância (MACHADO e CRUZ, 2020). Também existem trabalhos sobre o PhET em diferentes componentes curriculares do ensino, como matemática (SILVA et al, 2023; SANTOS, 2023 e PINTO et al., 2023), biologia (OLIVEIRA e BIZERRA, 2023; FERNANDES, 2023 e DANTAS, 2022), química (VIEIRA et al., 2023; RAMOS e JESUS, 2023 e ROST, 2023), ciências da Terra (SILVA et al., 2023; LUZ, 2023 e SANTANA, 2021) e física. O PhET foi desenvolvido inicialmente para o ensino de física. Por isso, na plataforma do PhET existe um quantitativo maior em relação a simulações relacionadas ao componente curricular de física e com isso o quantitativo de trabalhos encontrados na literatura² referente as simulações de física encontram-se em quantitativo maior que as outras componentes.

Diante disso, na área de física os trabalhos foram realizados em relação a algumas abordagens de pesquisa. A primeira está relacionada ao uso do simulador PhET como potencializador em uma aprendizagem significativa na perspectiva de Ausubel (1980). Por exemplo, o trabalho intitulado “*Uso de ferramentas midiáticas e práticas no ensino de acústica*” os autores (NETTO, SANTOS e JÚNIOR, 2023) apresentam uma proposta didática visando que professores e alunos pudessem construir significados sobre conceitos de acústica usando ferramentas midiáticas e práticas. Além disso, como proposta metodológica os autores dividiram a sequência didática em sete etapas (aplicação de um questionário; apresentação das ferramentas

² Pesquisas feitas no Google Acadêmico com as palavras-chave: “PhET física”, aparecem, aproximadamente, 6.010 resultados; para “PhET matemática”, aparecem, aproximadamente, 3.010 resultados; para “PhET química”, aparecem, aproximadamente, 2.460 resultados; para “PhET ciências da Terra, aparecem, aproximadamente, 1.690 resultados; para “PhET biologia”, aparecem, aproximadamente, 1.600 resultados.

mediáticas, Phet Simulações; apresentação das ferramentas práticas; abordagem do conteúdo; realização das práticas; construção de MC e aplicação do questionário depois) e verificaram que o uso de ferramentas midiáticas proporciona maior interesse nos alunos(as). Em outro trabalho intitulado “*Objetos Educacionais para o ensino de Física: o uso de simulador para o ensino de lançamento oblíquo e horizontal*” (MIRANDA et al., 2023) traz a aplicação de suas sequências didáticas, a primeira usando o simulador PhET e a outra utilizando o livro didático com objetivo de comparar essas duas abordagens didáticas para refletir quais delas favorecia uma aprendizagem significativa de Ausubel (1976), no fim das pesquisas os(as) autores(as) enfatizam que o uso da teoria da Aprendizagem Significativa é eficaz para promover uma aprendizagem significativa.

Além disso, a segunda abordagem está relacionada a elaboração de sequências didáticas para auxiliar professores(as) em suas práticas pedagógicas. Por exemplo, no trabalho intitulado “*Sequência de ensino investigativa para o ensino da lei de Hooke e movimento harmônico simples: uso do aplicativo Phyphox, o simulador Phet e GIF’s*” os autores (SANTOS et al., 2019) utilizaram uma Sequência de Ensino Investigativo (SEI) e as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) – PhET, GIFs (Graphics Interchange Format) e o sensor acelerômetro de um smartphone em conjunto com aplicativo Phyphox – para auxiliar professores em suas práticas em sala. Essa sequência didática foi aplicada para a turma do segundo ano do ensino médio de uma escola pública, os resultados do trabalho mostraram que o uso das TICs serviu para complementar o processo de aprendizagem da lei de Hooke, bem como, buscou incentivar professores a utilizarem esses recursos. Em outro, trabalho intitulado “*Sequência didática no ensino de lançamento oblíquo com auxílio de simulador da plataforma PhET*” os(as) autores(as) (LABOR e OLIVEIRA, 2022) propuseram uma sequência didática utilizando o PhET para doze estudantes do PIBID, concluindo que a sequência didática é viável na aprendizagem e as simulações contribuíram de forma significativa no processo educativo.

A terceira abordagem está relacionada ao uso do simulador PhET com um tipo de metodologia ativa para o ensino. Por exemplo, o trabalho intitulado “*O uso de experimentos científicos nas atividades práticas como metodologia ativa no ensino de Física*” os autores (MONTESUMA E OLIVEIRA, 2020) propuseram a metodologia ativa sala de aula invertida com a apresentação de um experimento prático e o uso da simulação PhET, os alunos participantes foram do terceiro ano do ensino médio, no fim, os autores concluíram que a utilização da metodologia ativa com experimentação e simulação proporcionou mais interação por partes dos(as) alunos(as) e aulas assim permitem que os(as) alunos(as) construam com autonomia seus conhecimentos. Em outro trabalho, “*Estratégias de aprendizagem ativa na disciplina física 1 no curso de engenharia do instituto mauá de tecnologia e o desenvolvimento de competências em um curso mediado por tecnologia*” os autores (N. STEM et al., 2022) propuseram duas atividades baseada em metodologias ativas nas aulas de teoria e laboratório, nas

aulas teóricas realizaram micro atividades em grupo promovendo o aprendizado e o engajamento desejável, já nas atividades de laboratório foi realizado seminários utilizando software (PhET) para revisar conceitos físicos e no final desenvolver um projeto semestral. Todas as atividades desenvolvidas foram mediadas através da plataforma Zoom. Os autores concluem o trabalho apresentando que o uso de micro atividades foram promissores, verificando o desempenho alcançados pelos(as) estudantes.

A última abordagem encontrada está relacionada a usabilidade do PhET em sala de aula. No trabalho intitulado *“O uso de simuladores virtuais educacionais e as possibilidades do PhET para a aprendizagem de Física no Ensino Fundamental”* os(as) autores(as) (ARAÚJO et al., 2021) procura compreender o uso de simuladores, em especial o PhET, no processo de ensino-aprendizagem para o ensino de Física, relacionando esse processo as teorias de Ausubel (2002), Freire (2011) e Vigotsky (1989) e analisando as temáticas do currículo. Como metodologia os(as) autores(as) realizaram uma revisão bibliográfica com abordagem exploratória-descritiva, colhendo dados no Portal de Periódicos Capes, Scopus, Google Acadêmico e no simulador PhET. Por fim, os(as) autores(as) verificaram que a proposta do uso do PhET no ensino de física está conforme os teóricos estudados no trabalho. Em outro trabalho intitulado *“Usabilidade do software educacional PhET pelos professores de física nas escolas públicas de ensino médio no município de São João dos Patos – MA”* os autores (AZEVEDO et al., 2019) tiveram como objetivo refletir o uso do simulador PhET por professores de Física, além disso, verificaram a viabilidade deste software, como metodologia os autores realizaram um levantamento bibliográfico e posteriori elaboração e aplicação de questionário. Por fim, consideraram que o uso do PhET acarreta benefícios no processo de ensino de Física. Porém, esse recurso ainda e pouco usado por professores em sala, mesmo eles acreditando que o simulador desperta interesse nos estudantes quanto ao seu uso.

Porém, dentro da literatura não encontramos trabalhos que refletem sobre o modelo teórico trazido pelo simulador PhET, ao pesquisar no google acadêmico, trabalhos relacionado a “PhET física e Bunge” ele apresenta apenas um trabalho que usa a teoria de Bunge (1972) para elaborar um sequência didática utilizando o PhET. O trabalho intitulado *“Uma proposta didática a partir da integração das simulações computacionais com os laboratórios experimentais”* (Machado et al., 2021) apresenta uma proposta didática para o ensino de Física usando simulações computacionais e atividades experimentais com objetivo de possibilitar uma aprendizagem significativa, os autores utilizam a teoria de Bunge (1972) para dialogar sobre a construção da ciência com perspectiva na aprendizagem cognitiva no ensino de Física. A proposta metodológica utilizou três aulas com o primeiro momento sendo uma discussão prévia dos conteúdos seguida por realização de experimentação e uso da simulação PhET com avaliação final sendo a aplicação de um questionário com critérios acerca da aprendizagem significativa (Ausubel apud Moreira, 1991 e 2012) e a visão

epistemológica de Bunge (1972). Assim, através da sequência didática proposta, os autores esperaram estimular a aprendizagem significativa na relação entre a teoria e a prática.

Assim, este trabalho tem como finalidade contribuir nas pesquisas referente ao simulador PhET com uma abordagem diferente das encontradas na literatura, através da reflexão acerca do modelo teórico por trás do simulador PhET, analisando se envolve um realismo ingênuo para os usuários e assim, podendo refletir antes do uso dele numa discussão crítica a respeito da teoria epistemológica de Bunge sobre o realismo crítico e a construção do conhecimento científico.

3 PROPOSTA METODOLÓGICA

Trataremos neste capítulo da metodologia abordada para análise crítica da simulação *Energy Skate Park* do simulador PhET visando verificar se o modelo teórico condiz com a situação visual apresentada pelo simulador.

Nossa investigação foi realizada a partir de uma abordagem de um estudo de caso de pesquisa, para o autor Stake (2009) o estudo de caso possibilita uma análise acentuada do fenômeno, problema ou contexto. Para Stake (1978, p. 258), é “um estudo de um sistema delimitado, que dá ênfase à unidade e globalidade desse sistema, mas concentra a atenção nos aspectos relevantes para o problema de investigação, num dado tempo”. A análise aplica-se em diversos objetos investigativos como um grupo de pessoas, uma pessoa, um evento, uma instituição, podendo se tratar de um caso ou mais (LICHTMAN, 2013). Além disso, teve como natureza uma pesquisa aplicada, uma vez que buscou aplicar conhecimentos teóricos em uma situação real. A pesquisa foi explicativa, uma vez que se buscou analisar o simulador PhET Colorado a fim de verificar se o modelo teórico condiz com a situação visual mostrada, e, portanto, o grau de realismo do simulador.

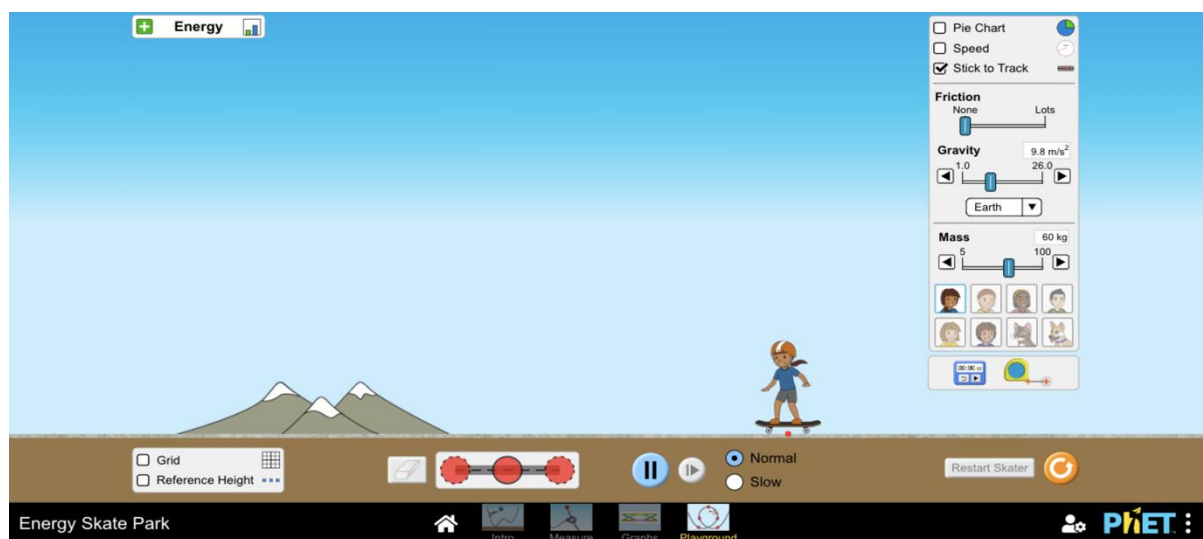
Nossa escolha para a análise do simulador PhET surgiu da inquietação de investigar se o modelo teórico compreende a simulação visual trazida por ele. Tendo em vista, que, possivelmente, muitos professores utilizam o simulador PhET em suas metodologias didáticas educacionais em sala de aula torna-se relevante refletir suas especificidades e suas limitações na tentativa de reproduzir situações do dia a dia que versem conceitos de Física. Ademais, seu uso é de suma importância no cotidiano escolar, visto que, ele possibilita a visualização de situações que não seriam possíveis no dia a dia escolar, seja pela escassez de recursos da escola ou do(a) professor(a), seja pela impossibilidade de reproduzir determinados experimentos.

Importante salientar que as observações feitas para análise deste trabalho tiveram interferência direta dos autores quanto aos elementos encontrados no

simulador, como: a pista que o simulador traz, consideramos que seria de asfalto, por sua representação gráfica; que as rodinhas são de material de borracha, já que se trata de um skate, que a pista está seca e sem nenhuma lubrificação. Entretanto, em nenhum momento a plataforma do simulador traz as especificações desses e outros elementos que fazem parte da situação estudada. Assim, nossa análise partirá dessas considerações.

O PhET é um simulador online que oferece simulações de ciências e matemática de forma gratuita, para levar um laboratório interativo para uso didático de professores(as) e estudantes, tendo como idioma nas simulações o inglês. Em particular, a simulação utilizada neste trabalho figura (11) da *Energy Skate Park*.

Figura 11: Simulação Energy Skate Park.

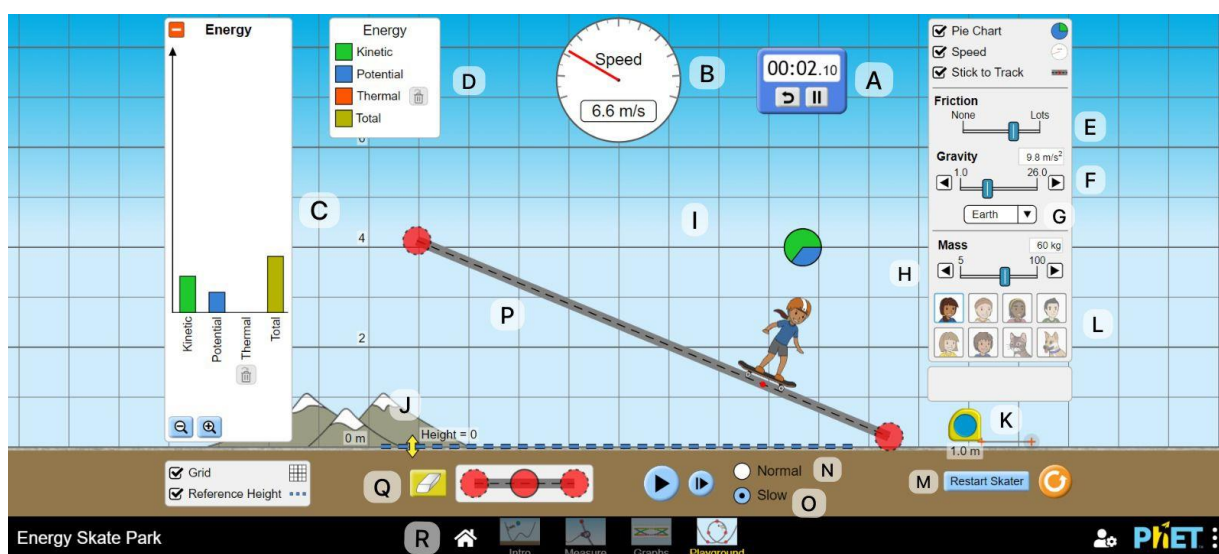


Fonte: PhET – Physics Education Technology. Disponível em <https://phet.colorado.edu/en/simulations/energy-skate-park>.

Essa simulação nos fornece os seguintes dados figura (12): o tempo percorrido na situação (A), a velocidade (B) que o esquetista anda na pista, um gráfico em barra das energias (C) - cinética potencial e mecânica - do sistema, um gráfico em pizza das energias (D) - cinética potencial e mecânica - do sistema, uma barra de coeficiente de atrito cinético (E) - que vai de uma situação com nenhum coeficiente de atrito

cinético até uma situação de coeficiente de atrito cinético máximo - uma barra com a gravidade (F) - com a possibilidade da gravidade variar de 1 m/s^2 à 26 m/s^2 , podendo variar essa gravidade entre a Lua, a Terra, Júpiter, e ainda, pode personalizar o lugar (G) - uma barra de massa (H) que varia de 5 kg a 100 kg, uma malha quadriculada de comprimento (I), um referencial de altura (J), uma trena (K), oito personagens (L) distintos (homens e mulheres adultos(as), crianças, gato e cachorro), um botão para reiniciar (M) a situação problema do zero, um botão para fazer as testagens de forma normal (N) ou em câmera lenta (O), uma pista de asfalto (P), uma borracha (Q) e uma barra com opções de uma simulação mais introdutória, medidor, gráficos e parque infantil (R).

Figura 12: Detalhamento de todos os componentes da simulação Energy Skate Park.

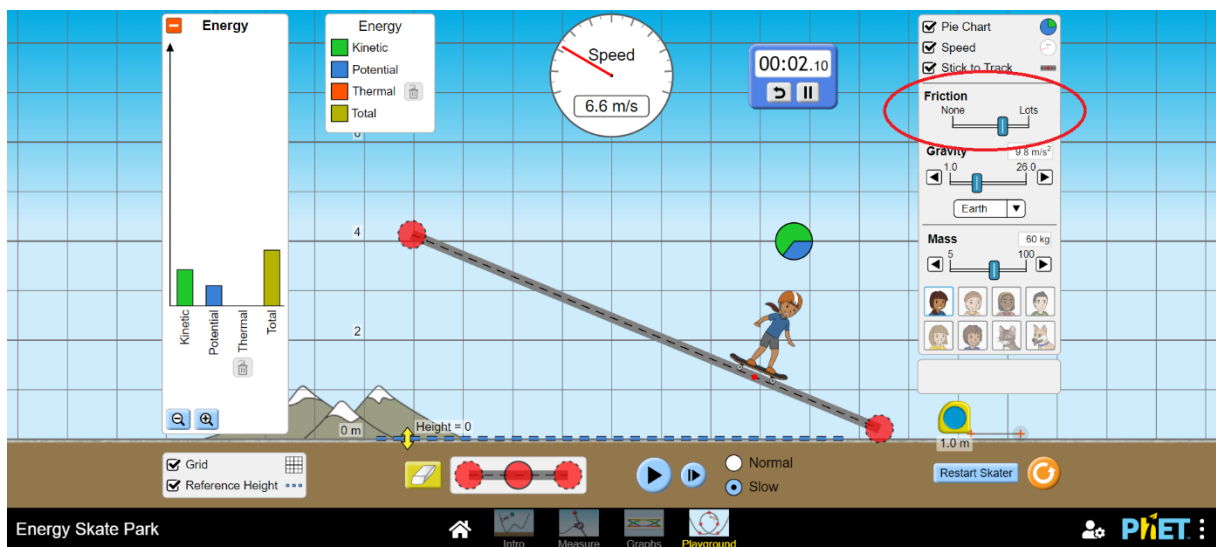


Fonte: PhET – Physics Education Technology. Disponível em <https://phet.colorado.edu/en/simulations/energy-skate-park> (grifos da autora).

Inicialmente, para determinar qual modelo teórico (quais as equações) que o PhET utiliza na simulação, montamos uma situação-problema envolvendo o *Energy Skate Park*, que consiste em uma simulação que trabalha a conservação de energia numa pista de asfalto com atrito e um esquetista se deslocando. Nesse sentido, tivemos três variações de comprimento em metros para a pista de asfalto de nove

metros, doze metros e quinze metros (9 m, 12 m e 15 m), três variações da altura em metros, formando um ângulo de inclinação, com um, dois e três metros (1 m, 2 m e 3 m), a gravidade usada foi a da Terra de nove vírgula oito metros por segundo ao quadrado (seu valor sendo $9,8 \text{ m/s}^2$), a massa do esquiretista sessenta quilogramas (60kg), a barra de coeficiente de atrito no máximo da barra. Neste caso, o objetivo consistia em encontrar esse valor máximo de coeficiente de atrito cinético com reproduutor em câmera lenta para um melhor manuseio da situação, conforme mostra a figura (12).

Figura 13: Barra do coeficiente de atrito cinético da simulação Energy Skate Park.

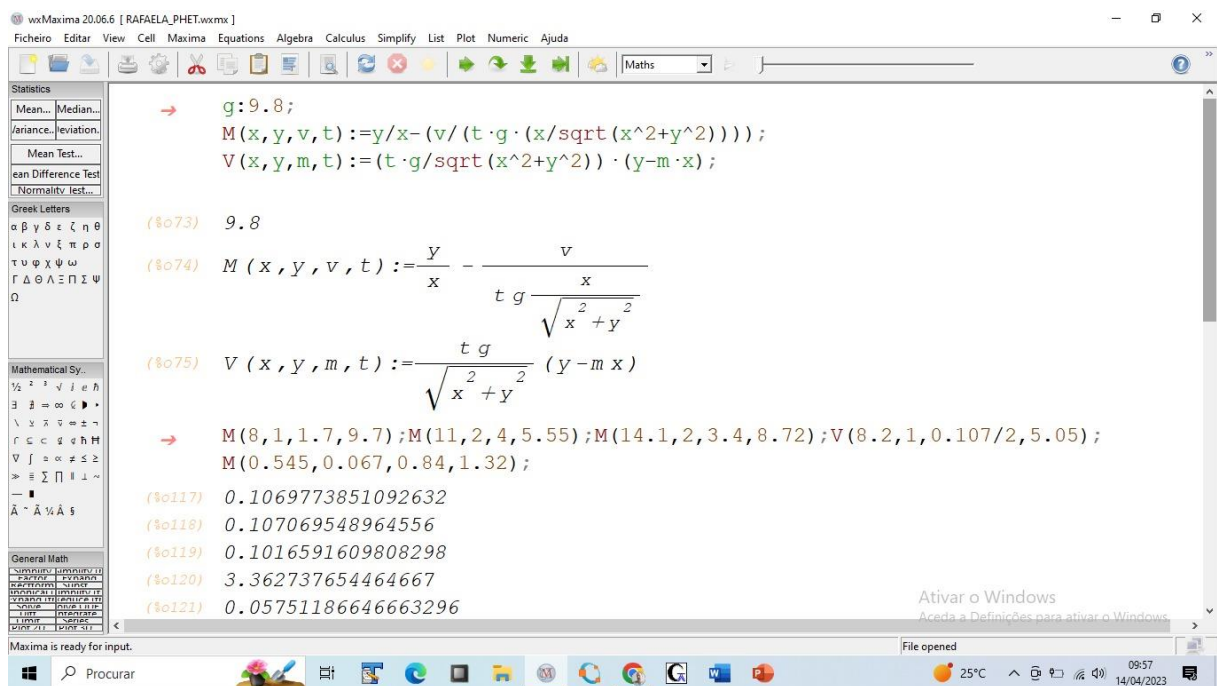


Fonte: Phet – Physics Education Technology. Disponível em <https://phet.colorado.edu/en/simulations/energy-skate-park> (grifos nossos).

Posteriormente, com os parâmetros descritos acima, fizemos as testagens para encontrar os valores nas três situações e, a partir de cada situação, o simulador PhET nos forneceu os valores do tempo e da velocidade. Entretanto, ele não nos forneceu os valores das energias e nem do coeficiente de atrito cinético. Assim, para nossa análise calculamos, a partir dos dados fornecidos do tempo e da velocidade e dos dados propostos para nossas situações de comprimento e altura, os ângulos e os coeficientes de atritos cinéticos no máximo da barra para cada situação. Dessa forma, valendo-se da equação (20) tanto foi possível determinar o valor máximo do

coeficiente de atrito cinético, como ver se a barra de escala era linear, ou seja, se quando colocada na metade, o valor do coeficiente de atrito cinético era, de fato, a metade do valor máximo.

Figura 14: Software MxMaxima calculando o coeficiente de atrito cinético do simulador com a barra na metade e no máximo.



Fonte: MxMaxima disponível: <https://maxima.sourceforge.io/>.

Assim, utilizando o Software WxMaxima³ figura (13) pode-se confirmar os valores encontrados manualmente para o valor do coeficiente de atrito cinético do simulador PhET através de três testagem com valores distintos fornecidos pelo PhET como os valores da velocidade, tempo, altura e comprimento da pista, bem como, verificar a linearidade do simulador ao colocar-se a barra na metade.

³ Maxima é um sistema para a manipulação de expressões simbólicas e numéricas, incluindo diferenciação, integração, série de Taylor, transformadas de Laplace, equações diferenciais ordinárias, sistemas de equações lineares, polinômios, conjuntos, listas, vetores, matrizes e tensores. Maxima produz resultados numéricos de alta precisão usando frações exatas, números inteiros de precisão arbitrária e números de ponto flutuante de precisão variável. Maxima pode plotar funções e dados em duas e três dimensões.

Assim, pode-se caracterizar as categorias trazidas por Bunge presentes no nosso estudo. Sendo, o conjunto skate no plano inclinado [Objeto-modelo] relacionados à mecânica clássica e às três leis do movimento de Newton [modelo teórico].

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo dedica-se a expor os resultados obtidos pela investigação, através da análise comparativa entre a simulação e a teoria realista do conhecimento a partir das concepções de Bunge (1974) a partir do modelo teórico com a representação visual trazida no simulador PhET, encontrar o valor do coeficiente de atrito cinético que o simulador não fornece e uma análise de um experimento real. Momento em que nos foi possível, a partir dos dados construídos e analisados, refletir sobre as questões do eixo da nossa pesquisa e fortalecendo as respostas ao problema: de que forma o modelo teórico por trás de uma simulação do PhET consegue representar a realidade?

4.1 RESULTADOS

Conforme discutido na metodologia, as simulações consistiram em três amostragens para verificar o valor do coeficiente de atrito cinético, com a barra ao máximo do simulador e, permitir as análises quanto a sua compatibilidade com a realidade. Assim, analisaremos o que Pietrocola conceitua a partir das concepções de Bunge de objeto-modelo, o objeto-modelo “se constitui em imagens conceituais (e, portanto, abstratas) dos elementos pertencentes a um sistema real que se pretende interpretar por uma teoria geral” (PIETROCOLA, 1999). Portanto, na ótica de Mario Bunge, a simulação *Energy Skate Park* do PhET trata-se de nosso objeto-modelo que, por sua vez, representa um fenômeno natural do nosso dia a dia. É a partir dela que investigaremos se a comunicação visual e o modelo adotado, ambos, estão condizentes um com o outro e com a realidade.

Na primeira situação da simulação *Energy Skate Park* teve como objetivo encontrar o valor do coeficiente de atrito da simulação com a barra no ponto máximo, estabelecemos previamente os valores fixos para o comprimento no eixo x, colocamos

nove metros (9 m) para comprimento total da rampa, uma altura, no eixo y, de um metro (1 m). Ademais, o simulador nos forneceu uma velocidade de um vírgula dois metros por segundos (1,2 m/s) e um tempo de quatorze vírgula quarenta e sete segundos (14,47 s). Segue abaixo a figura ilustrativa (14) a seguir, oferecendo uma base sólida para a análise de forma visual da montagem da primeira situação.

Figura 15: Situação 1 da simulação Energy Skate Park do simulador PhET.



Fonte: PhET – Physics Education Technology. Disponível em <https://phet.colorado.edu/en/simulations/energy-skate-park>

Com os valores previamente fixados do comprimento e altura encontramos o ângulo de inclinação de seis vírgula trinta e sete graus ($6,37^\circ$) - para mais detalhes a equação matemática usada encontra-se no Apêndice B - e com os valores fornecidos pelo simulador da velocidade e do tempo, que o esquetista se deslocou na rampa, foi possível encontrar a partir da equação (20) da seção 2.4.6, determinada a partir do princípio da dinâmica de Isaac Newton na fundamentação teórica, o valor de zero vírgula um (0,1) para do coeficiente de atrito cinético - no ponto máximo da barra - esses dados são de extrema importância para o desenvolvimento deste estudo e estão apresentados de forma clara e detalhada na tabela (2) a seguir:

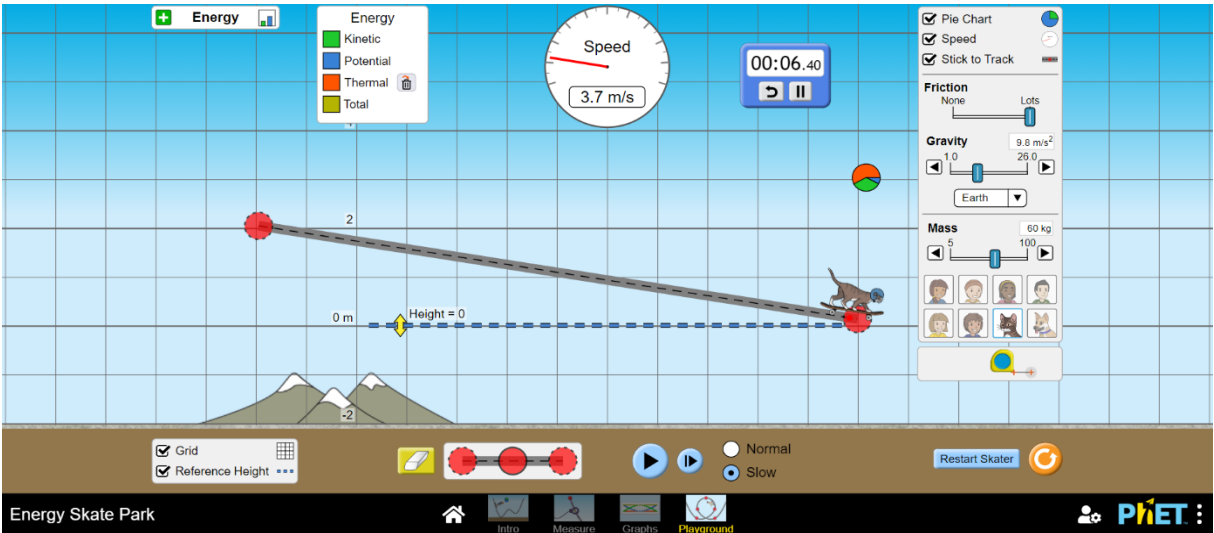
Tabela 3: I) valores previamente fixados do comprimento da rampa, sua altura, ângulo de inclinação. II) valores fornecidos do esquetista pelo simulador da velocidade e do tempo. III) valor encontrado do coeficiente de atrito cinético (Cof).

Comprimento(m)	Altura(m)	Ângulo (°)	Velocidade (m/s)	Tempo (s)	Cof
9	1	6,37	1,21 ± 0,1	14,47 ± 0,01	0,10

Fonte: Autora, 2023.

Através da análise desses valores, podemos explorar a consistência e a precisão das nossas medições, bem como avaliar a concordância com o modelo teórico. Assim, na segunda situação da simulação *Energy Skate Park* cujo o objetivo foi confirmar o valor encontrado na situação (1), estabelecemos previamente os valores fixos para o comprimento no eixo x, colocamos doze metros (12 m) para comprimento total da rampa, uma altura, no eixo y, de dois metros (2 m). Ademais, o simulador nos forneceu uma velocidade de três vírgula sete metros por segundos (3,7 m/s) e um tempo de seis vírgula quatro segundos (6,4 s). Segue abaixo a figura ilustrativa (15) a seguir, oferecendo uma base sólida para a análise de forma visual da montagem da primeira situação.

Figura 16: Situação dois (2) da Simulação Energy Skate Park do simulador PhET.



Fonte: PhET – Physics Education Technology. Disponível em <https://phet.colorado.edu/en/simulations/energy-skate-park>.

Com os valores previamente fixados do comprimento e altura encontramos o ângulo de inclinação de nove vírgula cinquenta e nove graus ($9,59^\circ$) - para mais detalhes a equação matemática usada encontra-se no Apêndice B - e com os valores fornecidos pelo simulador da velocidade e do tempo, que o esqueitista se deslocou na rampa, foi possível encontrar a partir da equação (20) da seção 2.4.6, determinada a partir do princípio da dinâmica de Isaac Newton na fundamentação teórica, o valor de zero vírgula um (0,1) para do coeficiente de atrito cinético - no ponto máximo da barra - esses dados são de extrema importância para o desenvolvimento deste estudo e estão apresentados de forma clara e detalhada na tabela (3) a seguir:

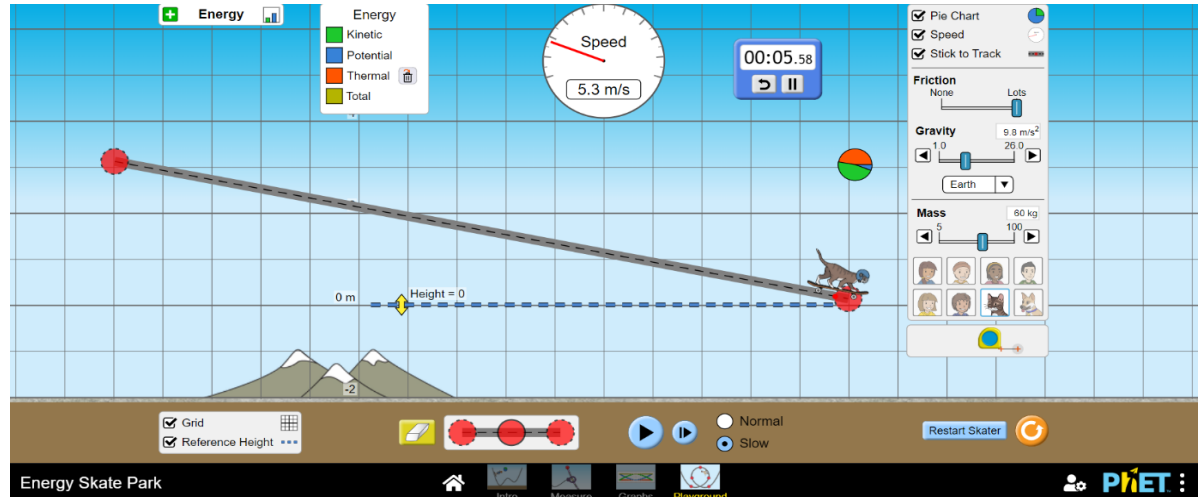
Tabela 4: I) valores previamente fixados do comprimento da rampa, sua altura, ângulo de inclinação. II) valores fornecidos do esqueitista pelo simulador da velocidade e do tempo. III) valor encontrado do coeficiente de atrito cinético (Cof).

Comprimento(m)	Altura(m)	Ângulo ($^\circ$)	Velocidade (m/s)	Tempo (s)	Cof
12	2	9,59	$3,7 \pm 0,1$	$6,4 \pm 0,01$	0,10

Fonte: Autora, 2023.

Na terceira situação da simulação *Energy Skate Park* ainda visando confirmar o valor encontrado na situação (1), estabelecemos previamente os valores fixos para o comprimento no eixo x, colocamos quinze metros (15 m) para comprimento total da rampa, uma altura, no eixo y, de três metros (3 m). Ademais, o simulador nos forneceu uma velocidade de cinco vírgula três metros por segundos (5,3 m/s) e um tempo de cinco vírgula cinquenta e oito segundos (5,58 s). Segue abaixo a figura ilustrativa (16) a seguir, oferecendo uma base sólida para a análise de forma visual da montagem da primeira situação.

Figura 17: Situação três (3) da Simulação Energy Skate Park do simulador PhET.



Fonte: PhET – Disponível em <https://phet.colorado.edu/en/simulations/energy-skate-park>.

Com os valores previamente fixados do comprimento e altura encontramos o ângulo de inclinação de onze vírgula trinta e um graus (11.31°) - para mais detalhes a equação matemática usada encontra-se no Apêndice B - e com os valores fornecidos pelo simulador da velocidade e do tempo, que o esquetista se deslocou na rampa, foi possível encontrar a partir da equação (20) da seção 2.4.6, determinada a partir do princípio da dinâmica de Isaac Newton na fundamentação teórica, o valor de zero vírgula um (0,1) para o coeficiente de atrito cinético - no ponto máximo da barra - esses dados são de extrema importância para o desenvolvimento deste estudo e estão apresentados de forma clara e detalhada na tabela (4) a seguir:

Tabela 5: I) valores previamente fixados do comprimento da rampa, sua altura, ângulo de inclinação. II) valores fornecidos do esquetista pelo simulador da velocidade e do tempo. III) valor encontrado do coeficiente de atrito cinético (Cof).

Comprimento(m)	Altura(m)	Ângulo ($^\circ$)	Velocidade (m/s)	Tempo (s)	Cof
15	3	11,31	$5,3 \pm 0,1$	$5,58 \pm 0,01$	0,10

Fonte: Autora, 2023.

Por fim, usamos o software WxMaxima para confirmar o valor encontrado do coeficiente de atrito cinético através da equação (20) para a barra de atrito cinético máximo do simulador PhET. Com isso, usamos quatro conjuntos, no caso, quatro situações distintas para a simulação *Energy Skate Park*.

A tabela (5) abaixo traz os valores dos coeficientes de atrito cinético encontrados para o simulador.

Tabela 6: valores dos coeficientes de atrito cinético encontrados a partir dos dados do PhET e cálculos do WxMaxima.

Comprimento (m)	altura (m)	Velocidade (m/s)	tempo (s)	coeficiente de atrito
8	1	1,7	9,7	0,10
11	2	4	5,55	0,10
14,1	2	3,4	8,72	0,10
0,545	0,067	0,84	1,32	0,05

Fonte: Autora, 2023.

Na primeira situação da simulação *Energy Skate Park*, estabelecemos previamente os valores fixos para o comprimento no eixo x, colocamos oito metros (8 m) para comprimento total da rampa, uma altura, no eixo y, de um metro (1 m). Ademais, o simulador nos forneceu uma velocidade de uma vírgula sete metros por segundos (1,7 m/s) e um tempo de nove vírgula sete segundos (9,7 s).

Na segunda situação da simulação *Energy Skate Park*, estabelecemos previamente os valores fixos para o comprimento no eixo x, colocamos onze metros (11 m) para comprimento total da rampa, uma altura, no eixo y, de dois metros (2 m).

Além disso, o simulador nos forneceu uma velocidade de quatro metros por segundos (4 m/s) e um tempo de cinco vírgula cinquenta e cinco segundos (5,55 s).

Na terceira situação da simulação *Energy Skate Park*, estabelecemos previamente os valores fixos para o comprimento no eixo x, colocamos quatorze metros (14 m) para comprimento total da rampa, uma altura, no eixo y, de dois metros (2 m). Para mais, o simulador nos forneceu uma velocidade de três vírgula quatro metros por segundos (3,4 m/s) e um tempo de oito vírgula setenta e dois segundos (8,72 s).

Na quarta situação da simulação *Energy Skate Park*, mudamos o parâmetro para verificar de que forma o simulador PhET se comportava, colocamos a barra de coeficiente de atrito na metade, estabelecemos previamente os valores fixos para o comprimento no eixo x, colocamos zero vírgula quinhentos e quarenta e cinco metros (0,545 m) para comprimento total da rampa, uma altura, no eixo y, de zero vírgula sessenta e sete metros (0,067 m). Ademais, o simulador nos forneceu uma velocidade de zero vírgula oitenta e quatro metros por segundos (0,84 m/s) e um tempo de um vírgula trinta e dois segundos (1,32 s).

Essa abordagem nos permitiu analisar de forma isolada o impacto desses parâmetros na dinâmica do sistema, fornecendo dados valiosos sobre as relações entre eles.

4.2 DISCUSSÃO

Em primeira análise, referente ao “tempo” marcado no cronômetro do simulador em que o PhET possibilita a visualização do fenômeno de forma normal ou em câmera lenta. Deste modo, observou-se que independente do simulador estar em câmera lenta ou não, ele fornece o mesmo valor para o tempo marcado por ele no deslocamento do esquetista. Logo, para analisar qualquer situação no simulador colocar ou não a simulação em modo normal, ou câmera lenta não interferirá no valor

do tempo que ele fornecerá no final. Ademais, a precisão do simulador PhET para a velocidade é de dois números e uma escala de um número, uma casa decimal, o que leva a provocar um “erro” a partir da segunda casa decimal. Quanto maior a escala numérica mais precisa, ou seja, quanto maior o número de algarismos significativos, mais precisa é a medida, pois independentemente da quantidade de repetições ela irá fornecer números aproximados.

Entretanto, não se deve comparar o cronômetro do simulador com um utilizado, em sala, em paralelo pelo(a) professor(a) ou estudante, caso esteja em câmera lenta. Pois, os valores serão distintos quando o simulador estiver em câmera lenta, dando uma ideia de que o tempo está correndo de forma lenta enquanto a execução da simulação estiver acontecendo. Todavia, caso o(a) professor(a) ou estudantes queira usar cronômetros reais, nas práticas ou observações, é preciso deixar o simulador no modo normal na realização da simulação.

A tabela (6) abaixo traz todos os valores referentes as três situações elaboradas na simulação para a análise e o desenvolvimento dos resultados e discussões deste trabalho.

Tabela 7: Valores encontrados nas três situações proposta para análise.

Comprimento(m)	Altura(m)	Ângulo (°)	Velocidade (m/s)	Tempo (s)	Cof
9	1	6,37	$1,21 \pm 0,1$	$14,47 \pm 0,01$	0,1
12	2	9,59	$3,7 \pm 0,1$	$6,4 \pm 0,01$	0,1
15	3	11,31	$5,3 \pm 0,1$	$5,58 \pm 0,01$	0,1

Fonte: Autora, 2023.

Em segunda análise, após a realização das três situações da simulação *Energy Skate Park* no simulador PhET para encontrar o coeficiente de atrito cinético máximo utilizado pelo PhET, conseguimos encontrar um único valor de 0,1 independente das combinações feitas do comprimento, altura, ângulo, velocidade e tempo. Logo, o valor máximo para o coeficiente de atrito cinético que o simulador fornece para esta simulação varia entre zero e zero vírgula um (0 e 0,1).

Entretanto, a partir da nossa interpretação da simulação estudada, sendo considerado um esquetista descendo uma rampa com uma inclinação que contém atrito cinético e as rodas giram, este coeficiente nos leva a verificar que esse valor não corresponde à situação apresentada visual pelo PhET, no caso, a partir de nossa interpretação a situação apresenta um skate descendo uma pista de concreto em um plano inclinado com atrito em que o valor encontrado para o coeficiente de atrito cinético deveria ser, segundo a tabela (1), de 0,8 para a superfície de concreto seco sobre borracha. Porém, o valor encontrado diz respeito, segundo a tabela (2), a superfície de gelo sobre gelo para o coeficiente de atrito estático, o que não corresponde com a situação visual apresentada pelo simulador com as interpretada em relação a seus elementos por nós. O PhET apresenta um modelo teórico diferente da situação visual. Segundo Bunge (1974), um modelo teórico ou teoria específica “... é um sistema hipotético-dedutivo que concerne a um objeto-modelo” (Bunge, 1974, p. 16) bem como “..., é obtido pela adjunção de suposições subsidiárias a uma estrutura... cobrindo uma espécie em vez de um gênero extenso de sistemas físicos”. (Bunge 1973, p. 53). A tabela (5) abaixo mostra os valores fixados na literatura, em livros didáticos.

Tabela 8 Valores Aproximados do coeficiente de atrito cinético para superfícies secas.

Material em contato	Coeficiente de atrito cinético	Coeficiente de atrito estático
Borracha sobre concreto	0,8	1,0

Neve sobre neve	0,03	0,1
-----------------	------	-----

Fonte: YOUNG, FREEDMAN, 2016, p.158. e GIANCOLI, 2000, p. 113

Por fim, discutiremos os resultados encontrados no WxMaxima, a partir das nossas considerações a respeito dos elementos trazido pelo PhET, refletimos que o modelo teórico representado pelo simulador PhET não condiz com o visual da mostrado na tela, pois as rodas não giram, assim, o modelo correspondente a simulação é um skate escorregando ao descer a rampa, sem que suas rodas rolem o que muda de forma significativa toda a análise do modelo teórico. O PhET leva em consideração um bloco deslizando sobre um plano inclinado e o coeficiente cinético máximo que a barra do simulador fornecer na simulação na verdade corresponde a um uma superfície de gelo no gelo, com atrito estático, se deslocando, o que distorce totalmente a situação apresentada na simulação *Energy Skate Park*.

Tabela 9: valores dos coeficientes de atrito cinético encontrados a partir dos dados do PhET e cálculos do WxMaxima.

Comprimento (m)	altura (m)	Velocidade (m/s)	tempo (s)	coeficiente de atrito
8	1	1,7	9,7	0,10
11	2	4	5,55	0,10
14,1	2	3,4	8,72	0,10
0,545	0,067	0,84	1,32	0,05

Fonte: Autora, 2023.

Os valores dos coeficientes de atrito cinético nas três primeiras situações foram os mesmos encontrados através da equação (20) da seção 4.1.6, confirmando nosso

valor encontrado máximo da barra para o coeficiente de atrito cinético no simulador. Na situação quatro encontramos um coeficiente de atrito cinético igual a zero vírgula cinco (0,5) o que é condizente com o esperado, já que colocamos nessa situação a barra na metade. Assim, a barra do coeficiente de atrito cinético pode ser variada, mas existe uma linearidade. Não tem valor nenhum, mostrando no simulador, mas pode variar e essa variação é linear. Logo, pelos dados obtidos a partir do simulador o máximo é 0,1 e então a uma escala linear que vai do 0 ao 0,1 para o coeficiente.

Conforme medido e analisado é sugerido não utilizar pistas grandes porque os valores diferem de forma significativa em relação a medidas utilizando uma pista pequena. Assim, os resultados obtidos a partir da simulação PhET não foram consistentes com o modelo teórico utilizado. O coeficiente de atrito cinético encontrado (0,10) não está dentro do esperado para as superfícies apresentadas na realidade. Portanto, a crítica de Bunge (1974) ao realismo ingênuo sobre a ciência pode fornecer uma compreensão ampla e infalível do mundo real, argumentando que a ciência tem suas limitações técnicas e metodológicas, assim, mesmo o simulador PhET colorado tentar uma busca de trazer em suas simulações representações coerentes com a realidade ele traz limitações quanto essas representações, não sendo possível sua assimilação científica com o real. Portanto, a simulação não condiz, a partir da nossa análise sobre cada elemento da simulação, de forma real com a apresentada e se distancia da realidade.

Uma das implicações que o realismo ingênuo traz para a educação básica e superior é o afastamento do verdadeiro fazer científico. Pois, a ciência é refutável, e isso implica que seu entendimento em relação a fenômenos naturais para explicação do mundo ao nosso redor precede de limitações, representações e idealizações para o estudo de determinado fato, assim, é importante que os(as) estudantes tenham noção crítica do funcionamento da ciência e entenda as implicações no mundo, seja pelo fato dela ser refutável e ter limitações, ou seja, por mesmo diante das limitações encontrar resposta para compreender o mundo e transformá-lo, desenvolvendo cada vez mais nosso corpo social.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As reflexões sobre as discrepâncias entre os valores da simulação *Energy Skate Park* do simulador PhET e os valores encontrados na literatura, referente ao coeficiente de atrito cinético, destaca a importância da teoria de Mário Bunge sobre modelos teóricos e objetos modelo. Esta discussão enfatiza a necessidade de uma abordagem crítica e consciente na compreensão da realidade, reconhecendo as limitações dos modelos teóricos e utilizando-os de forma rigorosa para aprimorar nossa compreensão do mundo físico. Os modelos teóricos têm uma importância fundamental na ciência, pois permitem a previsão e o entendimento de fenômenos complexos, muitas vezes inacessíveis ou impraticáveis para a observação direta. No entanto, esses modelos teóricos são simplificações da realidade e, portanto, apresentam limitações. Eles não devem ser considerados como uma representação precisa da realidade, mas sim como um objeto modelo que pode ser utilizado de forma crítica para entender a realidade.

Portanto, isso implica em submeter os resultados teóricos à verificação empírica, para avaliar a validade do modelo e obter uma compreensão mais precisa do fenômeno estudado. Ao utilizar uma abordagem crítica, podemos aprimorar nossas teorias e modelos, bem como os métodos de pesquisa, para obter uma compreensão mais precisa e completa dos fenômenos naturais. Por exemplo, ao utilizar o PhET no ensino, deve-se antes de mais nada discutir sobre o realismo crítico, refletindo sobre o que existe por trás dos objetos estudados, bem como, a flexibilidade de retirar determinadas características dele, assim, o(a) estudante compreenderá que aquele modelo é apenas uma representação da realidade para estudar determinado fenômeno, após essa discussão é o momento de trabalhar com as simulações criando as situações, e procurando resultados para uma discussão que relacionará o que foi discutido sobre a teoria do realismo com a sua implicação e aplicação, podendo encontrar valores, como encontrados nesta pesquisa, do coeficiente de atrito, energia cinética, energia potencial e analisar se está coerente com o mundo real.

Assim, a simulação *Energy Skate Park* apresentada pelo simulador PhET, a partir de nossas considerações quanto aos elementos trazidos na simulação, não condiz com a situação visual apresentada, pois, não considerada o rolamento das rodinhas do skate, a situação apresentada leva em conta um bloco deslizando em um plano inclinado com atrito estático de um esqui parafinado na neve e não o atrito cinético de rodas de skate girando no asfalto.

Ademais, o valor encontrado para o coeficiente de atrito cinético não corresponde as superfícies apresentada pelo simulador na simulação em que se tem roda de Skate e uma pista de asfalto, retratando uma situação totalmente distinta da apresentada em relação ao valor do coeficiente.

Entretanto, o uso das simulações do simulador PhET no ensino é válido como uma ferramenta didática para diversificar o ensino-aprendizagem em escolas e centros acadêmicos, já que o simulador constitui simulações interativas e de fácil acesso tanto para professores(as) quanto para alunos(as).

Além disso, é essencial destacar a relevância do papel do professor que utiliza esse tipo de ferramenta. O uso de simuladores em sala de aula é uma estratégia pedagógica que pode enriquecer o aprendizado dos(as) alunos(as), permitindo que eles explorem conceitos abstratos de forma mais concreta e interativa. No entanto, para que o uso dessas ferramentas seja efetivo, é necessário que o(a) professor(a) tenha atenção devida quanto ao seu uso.

Além disso, ele também deve estar atento aos possíveis erros e limitações do simulador, assim como à possibilidade de existirem diferenças entre os resultados obtidos no simulador e aqueles encontrados em experimentos reais. Ele deve estar preparado para explicar as discrepâncias e para orientar os(as) alunos(as) a compararem os resultados obtidos em cada um dos métodos, contribuindo para que eles desenvolvam uma compreensão mais abrangente do fenômeno estudado.

Sabemos que um trabalho de pesquisa não se exaure em si. Contudo, abre possibilidades para outras discussões e outros estudos a respeito. Como fruto de nossas reflexões novas inquietações vão surgindo e pensamos que analisar se outros simuladores educacionais, como: OPhysics, RNDr. e Vascas condiz, com a situação visual apresentada ou foge do modelo teórico apresentado, também configuram boas investidas para ampliar e contribuir com esse campo de estudo.

REFERÊNCIAS

- ABBAGNANO, N. **Dicionário de filosofia**. São Paulo: Martins Fontes, 1998.
- ARANTES A. R; MIRANDA M. S; STUDART N. **Objetos de Aprendizagem no Ensino de Física: Usando Simulações do PhET**, Física na Escola, v. 11, n. 1, 2010.
- ARAÚJO, E. S. et al. **O uso de simuladores virtuais educacionais e as possibilidades do PhET para a aprendizagem de Física no Ensino Fundamental**. Revista de Ensino de Ciências e Matemática, 12(3), abril-junho, ISSN: 2179-426X, 2021.
- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: uma Perspectiva Cognitiva**. Lisboa: Paralelo Editora LTDA, 2002.
- AUSUBEL, D. P. **Psicología educativa: um punto de vista cognoscitivo**. Traducción al español de Roberto Helier D. México: Editorial Trillas, 1976.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D. e HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. (trad. de Eva Nick et al.) Rio de Janeiro: Interamericana, 625 p., 1980.
- Axt, R., Moreira, M. A. (1991). **O ensino experimental e a questão do equipamento de baixo custo**. Revista de Ensino de Física, 13, 97–103.
- AZEVEDO, R. R. S. et al. **Usabilidade do software educacional PhET pelos professores de física nas escolas públicas de ensino médio no município de São João dos Patos – MA**. Anais VI CONEDU. Campina Grande: Realize Editora, 2019. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/62889>>. Acesso em: 27/09/2023 11:30
- BRUGGER, W. **Dicionário de filosofia**. São Paulo: Herder, 1962.
- BUNGE, M. **Ciencia, técnica y desarrollo**. Buenos Aires: Sudamericana, 1997.
- BUNGE, M. **Filosofia da física**. Lisboa: Edições 70, 1973.
- Bunge, M. **La ciencia: su método y su filosofía**. Buenos Aires: Siglo Veinte, 1972
- BUNGE, M. **Racionalidad y realismo**. Madrid: Alianza, 1985.
- BUNGE, M. **Seudociencia e ideologia**. Madrid: Alianza, 1985.
- BUNGE, M. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, 1974.

BUNGE, M. **Treatise on basic philosophy**: Ontology I: the furniture of the world. Dordrecht: Reidel, 1977.

BUNGE, M. **Una caricatura de la ciencia**: la novísima sociología de la ciencia. Interciencia, Caracas, v.16, n. 2, p. 69-77, abr. 1991.

CUPANI, A. & PIETROCOLA, M. **A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de ciências**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v.19, p.100-125, jun. 2002.

DANTAS, M. **Uso de simuladores virtuais no ensino de biologia**. Orientador: Profa. Dra. Fabiana Silva Vieira. 23/11/2022. Departamento de biologia. CCBS. Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão - SE. 2022.

DUMMETT, A. E. **Realism. In Truth and other enigmas**. Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1996 [1963]. p. 145 – 165.

FERNANDES, L. **Revisão sistemática sobre laboratórios virtuais para ensino de microbiologia**. Orientador: Prof. Dr. Eduardo Figueiras Damasceno. 31/03/2023. Dissertação (Mestrado). Programa de Mestrado em Ensino de Ciências Humanas, Sociais e da Natureza. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2023.

FEYNMAN, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. **The Feynman Lectures on Physics**. Addison-Wesley. 1963

FREIRE, F. M. P.; VALENTE, J. A. **Aprendendo para a vida**: os computadores na sala de aula. São Paulo: Cortez, 2001.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia**: Saberes necessários à prática educativa. 48 ed. - Rio de Janeiro: Paze Terra, 2014.

GIANCOLI, Douglas C. **Physics for Scientists and Engineers**. 3ed. New Jersey: Editora Prentice Hall, 2000.

HESSEN, Johannes; CORREIA, António. **Teoria do conhecimento**. Martins fontes, 1999.

HIBBELER, R. C. **Estática**. 12ª ed., São Paulo: Pearson Brasil, 2011.

HIBBELER, R. C. **Dinâmica**. 12ª ed., São Paulo: Pearson Brasil, 2011.

LABOR, O. OLIVEIRA, E. **Sequência didática no ensino de lançamento oblíquo com auxílio de simulador da plataforma PhET**. Revista Educar Mais. CC BY-NC 4.0e-ISSN 2237-9185. Volume 6, Pág. 515 a 522, 2022.

LICHTMAN, M. **Qualitative Research in Education**. A User's Guide (3 Ed.). London: SAGE, 2013.

LUZ, L. et al. Araújo (organizador). **Divulgação científica: o uso de simulações virtuais como potencial pedagógico no ensino de ciências.** Encontro de Ciências da Natureza no Marajó. 2. II ECNM. 3. Ciências e Educação. I. Araújo, Josiney Farias de. II. Formiga (MG): Editora Uniesmero, 2023.

Machado, N. A., & Cruz, F. A. de O. (2020). **Estudo do Decaimento Radioativo com o Uso da Plataforma PhET:** uma Proposta para EaD. *EaD Em Foco*, 10(1). <https://doi.org/10.18264/eadf.v10i1.925>

MACHADO, N. et al. **Uma proposta didática a partir da integração das simulações computacionais com os laboratórios experimentais.** REVISTA DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA, Vol. 33, no. Extra, 2021.

MATTHEWS, M. R. Mario Bunge, **systematic philosophy and science education:** An introduction. *Science & Education*, v. 21, n. 10, p. 1393-1403, 2012.

MIRANDA E. et al. **Objetos Educacionais para o ensino de Física:** o uso de simulador para o ensino de lançamento oblíquo e horizontal. *Ensino e Tecnologia em Revista*, Londrina, v. 7, n. 2, p. 600-610, maio/ago. 2023.

MONTESUMA, S. OLIVEIRA, M. **O uso de experimentos científicos nas atividades práticas como metodologia ativa no ensino de física.** In: Lima, Elton Carvalho de. (Org). *Formando professores pela universidade aberta do Brasil: realidades e aplicações do curso em licenciatura em Física.* Palmas, TO: EDUFT, 2020. p. 84-90.

MOREIRA, M. A. **¿Al final, qué es aprendizaje significativo?** *Curriculum: revista de teoría, investigación y práctica educativa*, 25, 29-56. 2012.

N. Stem. Et al. **Estratégias de aprendizagem ativa na disciplina física 1 no curso de engenharia do instituto mauá de tecnologia e o desenvolvimento de competências em um curso mediado por tecnologia.** *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.8, n.1, p. 543-566 jan. 2022.

OLIVEIRA, F. BIZERRA, A. **Objetos virtuais de aprendizagem como recurso pedagógicos na educação ambiental:** Um Mapeamento dos Repositórios Institucionais. *Contexto & Educação* Editora Unijuí. ISSN 2179-1309. Ano 38, nº 120, 2023.

OLIVEIRA, Francisco Estevam de. **Estatística e probabilidade - exercícios resolvidos e propostos.** 3.ed. LTC, 05/2017.

PIETROCOLA, M. **Construção e realidade:** o realismo científico de Mario Bunge e o ensino de ciências através de modelos. *Investigações em Ensino de ciências*, Porto Alegre, v. 4, n. 3, dez. 1999.

PINTO, Fabiana et al. **Repercussões das atividades remotas na formação dos futuros professores de matemática participantes do PIBID-2020**. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v3, 2023/03.

PhET – Physics Education Technology. Disponível em <http://phet.colorado.edu/>.

RAMOS, L. JESUS, C. **O uso de laboratório virtual (PhET) como estratégia no ensino dos estados físicos da matéria**. Revista Interdisciplinar de Ensino, Pesquisa e Extensão, nº 1, vol. 1, 2023.

REALISMO. In: DICIO, **Dicionário Online de Português**. Porto: 7Graus, 2023. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/realismo/>. Acesso em: 18/06/2023.

ROBINSON, H. **Perception**. London: Routledge, 1994.

Rost, Érica, Da Silva, T. A. R., Firmino, C. P. Valério, M. da C. & da Silva, F. S. (2023). **O uso das tecnologias digitais na EJA: a temática biodiesel como tema gerador no ensino de química durante a pandemia**. *Peer Review*, 5(3), 356–374. <https://doi.org/10.53660/320.prw716>

SAGAN, C. **O mundo assombrado pelos demônios: a ciência vista como uma vela no escuro**. Companhia das Letras 1996.

SANTANA, A., Merklein, E., & Sampaio, G. **PhET na perspectiva do ensino de ciências – uma análise do conhecimento e uso/aplicação do software PhET por mestrandos do MPECIM/ 2020**. *Multidisciplinary Sciences Reports*, 1(2). <https://doi.org/10.54038/ms.v1i2.13>. 2021.

SANTOS, G. et al. **Sequência de ensino investigativa para o ensino da lei de Hooke e movimento harmônico simples: uso do aplicativo Phyphox, o simulador Phet e GIF's**. Revista de Enseñanza de la Física. Vol. 31, 91–108. No. 2, Dic. 2019.

SANTOS, Magno. **Utilização de simuladores virtuais no ensino de matemática**. Revista Educação e Ciências Sociais, UNEB, Salvador.v.6, n10, jan – jun.de 2023.

SILVA. I. et al. **Simulação virtual no ensino de ciências**. II SETEAC - Simpósio Estadual em Tecnologias Educacionais Aplicadas às Ciências - ISBN 978-65-5360-276-2 - Ano 2023 - Editora Científica Digital - www.editoracientifica.com.br. 2023

SILVA, Elione et al. **Cálculo da área de figuras planas com a utilização da plataforma PHET**. Revista REAMEC, Cuiabá/MT, v. 11, n. 1, e23011, jan./dez., 2023.

SILVA, Paula. MOREIRA, Augusto. **Concepções epistemológicas de estudantes de física a partir da correlação entre modelo teórico e experimentação: máquina de Atwood como um estudo de caso**. Experiências em Ensino de Ciências V.13, N.5. 2018.

SCHROEDER, Edson; FERRARI, Nadir; MAESTRELLI, Sylvia Regina Pedrosa. **A construção dos conceitos científicos em aulas de ciências**: contribuições da teoria histórico-cultural do desenvolvimento. VII ENPEC Florianópolis, SC, 2009.

STAKE, R. **The Case study method in social inquiry**. Educational Researcher, v.7, n. 2, p. 5-9, 1978.

TIPLER, Paul; MOSCA, Gene; **Física para Cientistas e Engenheiros 1**: Mecânica, Oscilações e Ondas Termodinâmicas; RJ; Ed. LTC; 2000.

TYSON, N. D. **Astrophysics for People in a Hurry**. W. W. Norton & Company. 2017.

VAN FRAASSEN, B.C. **The Scientific Image**. Oxford, Clarendon Press, 1980.

VIEIRA, M. L. de B., Brito, A. de A., Pereira, M. G. de S., Pereira, S. S., Santos, R. V. dos, & Rocha, J. M. (2023). **Simulador PHET para identificação das funções orgânicas**: Uma proposta metodológica aplicada na escola CETI - Pinheiro Machado em Cocal-Piauí. *Integra IFPI*, 7. Recuperado de <https://eventos.ifpi.edu.br/index.php/anaisdointegra/article/view/275>

VIGOTSKY, L. S. A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1989.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **FÍSICA I - MECÂNICA 1**, 14 ed. São Paulo: Pearson Education, 2016.

APÊNDICE A – CÁLCULOS DO COEFICIENTE CINÉTICO DO PhET

Para a primeira simulação tomamos com altura $y = 1\text{ m}$, o comprimento horizontal no valor de $x = 9\text{ m}$. Assim, obtivemos a velocidade, $v = 1,2\text{ m/s}$ e o tempo de $t = 14,47\text{ s}$, com o atrito máximo.

$$x = 9\text{ m}, \quad y = 1\text{ m}, \quad v = 1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad e \quad t = 14,47\text{ s}$$

Para calcular o seno do ângulo usamos a seguinte equação:

$$\theta = \sin^{-1} \frac{CO}{HP}$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{CO}{HP} \rightarrow \sin^{-1}(6,37^\circ) = \frac{1}{9} \rightarrow \theta = \sin^{-1}(0,11) = 6,37$$

Para encontrar a tangente do ângulo usamos o ângulo encontrado anteriormente a partir do seno, logo:

$$\tan(6,37) = 0,11$$

Para encontrar a tangente do ângulo usamos o ângulo encontrado anteriormente a partir do seno, logo:

$$\cos(6,37) = 0,99$$

$$\mu_{9,1} = \left(\tan \theta - \frac{\frac{v}{t}}{g \cdot \cos \theta} \right) \quad (4)$$

$$\mu_{9,1} = \left(\tan(6,37) - \frac{\frac{1,2}{14,47}}{9,8 \cdot \cos(6,37)} \right)$$

$$\mu_{9,1} = \left(0,11 - \frac{0,0829309}{9,739318202} \right)$$

$$\mu_{9,1} = (0,11 - 8,514990341)$$

$$\mu_{9,1} = 0,1025$$

Para o atrito total com as seguintes variáveis.

$$x = 12 \text{ m}, \quad y = 2 \text{ m}, \quad v = 3,7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad e \quad t = 6,4 \text{ s}$$

$$\theta = \frac{2}{12} = 9,59$$

$$\tan (9,59) = 0,16$$

$$\mu_{12,2} = \left(\tan \theta - \frac{\frac{v}{t}}{g \cdot \cos \theta} \right)$$

$$\mu_{12,2} = \left(\tan (9,59) - \frac{\frac{3,7}{6,4}}{9,8 \cdot \cos (9,53)} \right)$$

$$\mu_{12,2} = \left(- \frac{0,578125}{9,662930312} \right)$$

$$\mu_{12,2} = (- 0,059829159)$$

$$\mu_{12,2} = 0,10920169$$

❖ Para o atrito total com as seguintes variáveis.

$$x = 15 \text{ m}, \quad y = 3 \text{ m}, \quad v = 5,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad e \quad t = 5,58 \text{ s}$$

$$\theta = \frac{3}{15} = 11,31$$

$$\tan (11,31) = 0,20$$

$$\cos (11,31) = 0,98$$

$$\mu_{15,3} = \left(\tan \theta - \frac{\frac{v}{t}}{g \cdot \cos \theta} \right)$$

$$\mu_{15,3} = \left(\tan (11,31) - \frac{\frac{5,3}{5,58}}{9,8 \cdot \cos (11,31)} \right)$$

$$\mu_{15,3} = \left(- \frac{0,95}{9,604} \right)$$

$$\mu_{15,3} = (- 0,98)$$

$$\mu_{15,3} = 0,101082882$$

ANEXOS - DESVIO PADRÃO DO PHET

- Desvio Padrão**

Para calcular o desvio padrão populacional, utiliza-se a fórmula:

$$\sigma = \sqrt{(\sum(x - \mu)^2 / N)}$$

A fórmula para calcular a incerteza do desvio padrão, também conhecida como incerteza padrão, é dada por:

$$u = \sigma / \sqrt{n}$$

Desvio padrão do PhET

- Medidas do tempo e seus desvios:

Tempo	Desvio
1,63	0,01
1,58	0,04
1,62	0
1,60	0,02
1,63	0,01

1,65	0,03
1,63	0,01
1,67	0,05
1,62	0
1,63	0,01

Desvio padrão	0,01
----------------------	-------------

- Medidas da velocidade e seus desvios:

Velocidade	Desvio
6,5	0
6,3	0,2
6,5	0
6,4	0,1
6,5	0
6,6	0,1
6,5	0

6,7	0,2
6,5	0
6,5	0

Desvio padrão	0,01
---------------	------