
Impacto de atividades com uso de simulações computacionais nas concepções não-newtonianas sobre Força e Movimento⁺*

José Uibson¹

Instituto Federal de Sergipe – campus Lagarto

Coordenadoria de Licenciatura em Física

Lagarto – SE

Fernando Frei¹

Universidade Estadual Paulista (Unesp) – FCLAssis

Departamento de Ciências Biológicas

Assis – SP

Resumo

A inserção progressiva das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs) nos ambientes educacionais, no decorrer do século XXI, tem impulsionado inovações no processo de ensino-aprendizagem. Nesse contexto, o presente estudo investigou os impactos de atividades didáticas fundamentadas no emprego de simulações computacionais sobre a aprendizagem conceitual e a superação de concepções não-newtonianas de estudantes do primeiro ano do Ensino Médio, especificamente em relação aos conceitos de Força e Movimento. A pesquisa adotou uma abordagem quantitativa, com delineamento quase-experimental, empregando-se um grupo controle (GC) e um grupo experimental (GE). A amostra consistiu em 445 alunos de duas instituições de ensino da rede pública municipal no estado de Sergipe. A coleta de dados foi realizada por meio de um instrumento avaliativo composto por 18 questões do Force Concept Inventory (FCI), aplicado nas fases de pré-teste e pós-teste. A análise dos dados envolveu a aplicação de estatísticas inferenciais, incluindo o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, testes paramétricos e não-paramétricos, além do cálculo do ganho normalizado de aprendizagem (g) e do tamanho do efeito (d de

⁺ Impact of activities using computer simulations on non-newtonian conceptions of Force and Motion

^{*} Recebido: 16 de dezembro de 2025.

Aceito: 23 de junho de 2026.

Publicado: 31 de agosto de 2026.

¹ E-mails: jose.moraes@ifs.edu.br; fernando.frei@unesp.br

Cohen). Os resultados demonstraram uma diferença estatisticamente significativa no ganho de aprendizagem conceitual no grupo experimental ($g=0,12$) em comparação ao grupo controle ($g=0,08$). Adicionalmente, o grupo experimental evidenciou a superação de sete concepções não-newtonianas, reforçando o potencial das simulações computacionais como ferramenta eficaz para a mediação da aprendizagem em Física.

Palavras-chave: *Simulações Computacionais; Força e Movimento; Ensino de Física.*

Abstract

The progressive integration of Digital Information and Communication Technologies (DICTs) into educational environments throughout the 21st century has driven innovations in the teaching-learning process. Within this context, the present study investigated the impacts of instructional activities based on computer simulations on conceptual learning and the overcoming of non-Newtonian conceptions among first-year high school students, specifically regarding the concepts of Force and Motion. The research adopted a quantitative approach with a quasi-experimental design, employing a control group (CG) and an experimental group (EG). The sample consisted of 445 students from two public schools in the state of Sergipe, Brazil. Data collection was carried out using an assessment instrument comprising 18 items from the Force Concept Inventory (FCI), administered as both pre-test and post-test. Data analysis involved the application of inferential statistics, including the Shapiro–Wilk normality test, parametric and non-parametric tests, as well as the calculation of normalized learning gain (g) and effect size (Cohen's d). The results revealed a statistically significant difference in conceptual learning gains for the experimental group ($g = 0.12$) compared to the control group ($g = 0.08$). Furthermore, the experimental group demonstrated the overcoming of seven non-Newtonian conceptions, reinforcing the potential of computer simulations as an effective tool for mediating learning in Physics.

Keywords: *Computer Simulations; Force and Motion; Physics Education.*

I. Introdução

O ensino de Física enfrenta desafios de engajamento e abstração, exigindo uma aprendizagem ativa centrada no aluno e a integração de Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs) (Moreira, 2021). Diante da demanda atual por competências científicas, métodos tradicionais falham em despertar interesse. É imperativo que o ensino transcenda a mera transmissão de conteúdo e foque na interação ativa do estudante, tanto com os recursos pedagógicos digitais quanto com seus pares e professores (Bao; Koenig, 2019), pois a complexidade dos fenômenos e o ensino descontextualizado dificultam a aprendizagem (Aviles; Galembeck, 2017).

Nesse cenário, simulações computacionais emergem como ferramentas promissoras, especialmente quando associadas a métodos ativos de ensino (Jaime; Leonel, 2024). Contudo, é crucial considerar os conhecimentos prévios dos alunos, pois os próprios alunos trazem para a sala de aula concepções oriundas do senso comum (Silva; Forato; Gomes, 2013; Lima; Cavalcanti; Ostermann, 2021). Tais concepções fundamentam estratégias pedagógicas desde a década de 1970 e são essenciais para um ensino contextualizado (Megid-Neto, 2007).

A persistência dessas ideias mesmo após a instrução (Bao; Redish, 2001; Diola; Mistades, 2021; Uibson; Frei, 2023) justifica a investigação sobre concepções não-newtonianas de Força e Movimento, ou seja, aquelas que divergem do consenso científico (Hestenes; Wells; Swackhamer, 1992). Exemplos comuns incluem a ideia de *ímpetus* ou que apenas agentes ativos exercem força. A continuidade desses erros reforça a necessidade de transição para métodos de ensino baseados em pesquisas (Wheatley *et al.*, 2022).

Diante deste cenário, a pesquisa foi orientada pelas seguintes questões: 1) Como as simulações computacionais influenciaram a aprendizagem conceitual dos alunos em relação a Força e Movimento? 2) Em que medida atividades embasadas em simulações computacionais impactaram as concepções não-newtonianas dos alunos, em comparação com atividades de outra natureza? 3) Quais implicações os resultados desta investigação trazem ao processo de ensino-aprendizagem em Física e a pesquisa em ensino de Física?

Assim, o objetivo deste estudo é apresentar e discutir os resultados de uma investigação que analisou os impactos de atividades baseadas no uso de simulações computacionais na aprendizagem conceitual e nas concepções não-newtonianas de alunos do 1º ano do Ensino Médio em relação aos conceitos de Força e Movimento.

A pesquisa com abordagem quantitativa e delineamento quase-experimental, com grupos controle e experimental (Fraenkel; Wallen; Hyun, 2012), envolveu 445 alunos de escolas públicas do município de Lagarto-SE. Utilizou-se um Questionário de Perfil e o *Force Concept Inventory* (FCI) (Hestenes; Wells; Swackhamer, 1992) para avaliar concepções antes e depois da intervenção. A análise estatística incluiu testes de normalidade (Shapiro-Wilk), ganho normalizado (Hake, 1998) e tamanho do efeito (Cohen, 1988).

II. Simulações Computacionais no ensino de Física

O uso de simulações computacionais no ensino de Física ganhou maior expressão a partir da década de 1980, com a popularização dos computadores pessoais. De acordo com Fiolhais e Trindade (2003), a melhoria nas interfaces gráficas facilitou a disseminação dessas máquinas no ambiente escolar.

A área ganhou destaque com as contribuições de Alfred Bork e Seymour Papert. Segundo Uibson e Frei (2024), Bork foi pioneiro em programas educacionais de Física, embora alertasse para o uso cauteloso das tecnologias. Na época, o foco era a construção de gráficos no auxílio das aulas de Mecânica Clássica (Fig. 1) (Bork, 1980).

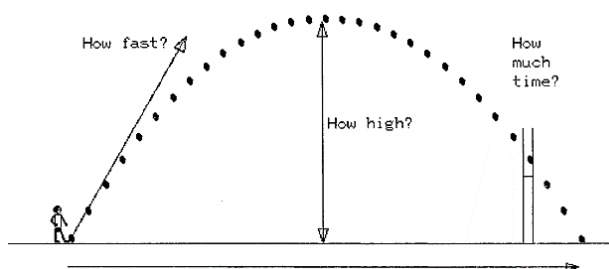


Fig. 1 – Simulação computacional da década de 1980. Fonte: Bork (1980, p. 16).

A partir de 1990, o avanço tecnológico permitiu o surgimento de simulações mais sofisticadas (Fiolhais; Trindade, 2003), ampliando o uso escolar no apoio experimental e análise de dados (Pastorio; Sauerwein, 2015). No início deste século, o computador nas escolas era utilizado frequentemente como 'máquina de ensinar' — termo associado a abordagens instrucionistas em que o *software* atua como um tutor diretivo que transmite e testa conteúdos de forma mecânica. Além dessa visão, a tecnologia dividia-se como ferramenta burocrática/intelectual, instrumento de programação — este último alinhado às vertentes construcionistas — e em simulações (Coelho, 2002).

Atualmente, conforme Barbosa (2021), há vasta gama de recursos TDICs, incluindo *sites* de simulações (PhET Colorado), *softwares offline* (VESTA, IQmol) e *podcasts* científicos. Destacam-se as simulações do PhET, definidas como “ferramentas interativas que facilitam a aprendizagem ativa [...], tornando visuais fenômenos que, na prática, seriam invisíveis” (Medeiros Jr.; Naia; Lopes, 2024, p. 2). O site do PhET abrange diversas áreas, incluindo 66 simulações em Física (Fig. 2).

Segundo Frei (2021), simulações baseiam-se em técnicas que reproduzem processos do mundo real. Elas buscam modelar objetos relacionados a sistemas ou fenômenos (Medeiros; Medeiros, 2002), sendo o modelo uma representação simplificada para “descrever, prever e/ou explicar um determinado fenômeno” (Jaime; Leonel, 2024, p. 3). Assim, é preciso ao professor conhecer as potencialidades, limitações e desafios na utilização das SCs.

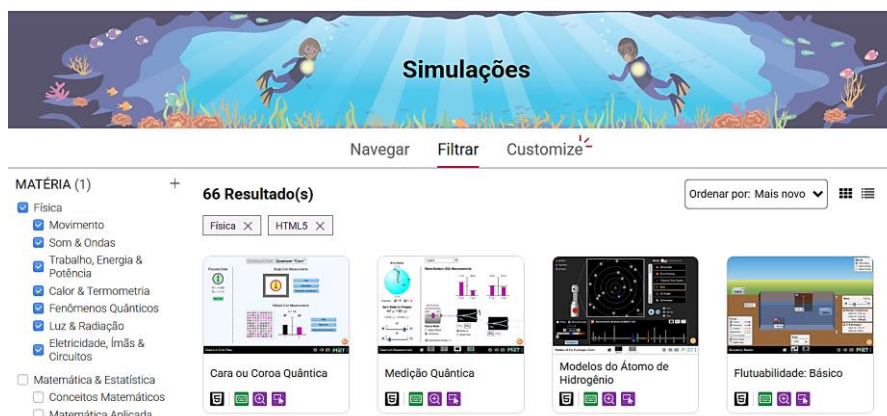


Fig. 2 – Simulações computacionais da Física no PhET. Fonte: PhET (2026)².

Sobre as vantagens das simulações computacionais, destacam-se: “alto nível de interatividade [...]; tornar conceitos abstratos mais concretos; promover habilidades de raciocínio crítico” (Jaime; Leonel, 2024, p. 3), tornando os alunos sujeitos mais ativos. Contudo, existem limitações. Por basearem-se em modelos simplificados, não possuem o mesmo *status* de experimentos físicos e podem conter erros que comprometem a aprendizagem (Medeiros; Medeiros, 2002). Os desafios incluem dificuldades na modelagem, infraestrutura escolar e falta de formação docente para lidar com as limitações do *software* (Jaime; Leonel, 2024). A simples presença da tecnologia não garante melhorias. Segundo Cavassani, Andrade e Marques (2024), a formação inicial deve incorporar as TDICs. Essa integração pode ocorrer via modelo TPACK — proposto por Mishra e Koehler (2006) ampliando o PCK de Shulman (1986) — visando qualificar a prática docente.

Após discutir as simulações computacionais, é necessário considerar os conhecimentos prévios dos estudantes, especialmente os que divergem do consenso científico.

III. Concepções não-newtonianas sobre força e movimento

Para um ensino de Física eficaz, é fundamental diagnosticar os conhecimentos prévios dos alunos. Mapear concepções divergentes do consenso científico subsidia escolhas metodológicas do professor. Conforme Eaton, Vavruska e Willoughby (2019, p. 1), “implementar técnicas instrucionais direcionadas requer uma compreensão das visões de mundo alternativas iniciais que os alunos possuem”. De acordo com Megid-Neto (2007), o estudo dessas concepções consolidou uma forte agenda de pesquisa a partir das décadas de 1970 e 1980, mapeando as ideias dos alunos nos mais variados campos da Física. Inicialmente, essas investigações tinham caráter qualitativo, baseadas em entrevistas e questionários abertos. Com o tempo, os resultados obtidos motivaram a criação de testes padronizados, o que permitiu aprofundar os estudos e viabilizar também análises quantitativas.

² Link: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/filter?subjects=physics&type=html.

Dentre a variedade de testes criados na pesquisa em ensino de Física cabe destaque ao *Force Concept Inventory* (FCI), desenvolvido por Hestenes, Wells e Swackhamer (1992). Esse teste avalia a compreensão dos alunos sobre Força e Movimento — conceitos fundamentados nas Leis de Newton e que são centrais nesta investigação. Os criadores do FCI adotaram o termo “concepções não-newtonianas” para caracterizar as ideias dos estudantes que divergem dessas leis. Assim, cada questão do teste apresenta cinco alternativas: a resposta correta, condizente com o conhecimento científico aceito, e quatro distratores formulados a partir das concepções não-newtonianas mapeadas por pesquisas anteriores.

Embora o FCI tenha impulsionado a pesquisa em ensino de Física globalmente, seu uso não é indispensável para a área. A identificação de concepções não-newtonianas e a proposição de intervenções pedagógicas podem ocorrer por múltiplos instrumentos, com ou sem testes padronizados. Desse modo, a testagem constitui uma escolha metodológica específica, e não uma diretriz universal para o ensino e a pesquisa no campo. Nesse sentido, quando se trata de pesquisas que fazem uso de testes de múltipla escolha, o FCI se destaca como “uma ferramenta válida para avaliar conceitos, tanto corretos quanto incorretos, em qualquer grupo de alunos” (Martín-Blas; Seidel; Serrano-Fernández, 2010, p. 599), conforme já evidenciado em várias pesquisas (Savinainen; Viiri, 2008; Poutot; Blandin, 2015).

O FCI permite identificar até 30 concepções não-newtonianas (Bani-Salameh; Nuseirat; Alkofahi, 2017), embora nem todas estejam presentes em uma mesma amostra. Concepções com 50% ou mais das respostas são consideradas dominantes, por refletirem o modo como os alunos interpretam fenômenos físicos. Essas ideias podem persistir mesmo após a instrução formal, inclusive no Ensino Superior (Bao; Redish, 2001; Gabunilas, 2017).

Segundo Bao e Redish (2001), predominam concepções intuitivas como a necessidade de força para manter o movimento, a teoria do *ímpetus* e a visão de que apenas agentes ativos exercem força. Entre essas, a crença de que a força é sempre paralela à velocidade merece destaque: conforme Martín-Blas, Seidel e Serrano-Fernández (2010), essa visão dificulta a compreensão de movimentos circulares e de cargas em campos magnéticos.

Devido à resistência de algumas concepções não-newtonianas, estas se fazem presentes não apenas nos alunos, mas pode ocorrer que seus professores também apresentem tais concepções. Um exemplo disso foi revelado na pesquisa de Gabunilas (2017, p. 151), ao identificar nos professores a concepção dominante que a “gravidade fica mais forte à medida que os objetos caem”. Assim, o autor recomenda em termos de formação continuada, que se deve oferecer o suporte pedagógico e tecnológico necessário a tais professores sobre o uso das Simulações PhET, tendo em vista seu potencial para afetar positivamente as concepções.

É possível agrupar as concepções em dimensões ou fatores. No caso do FCI, Hestenes, Wells e Swackhamer (1992) propuseram sua divisão em seis dimensões, mas atualmente adota-se uma divisão em cinco fatores, conforme Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 – Modelo de cinco fatores (EW5M) do FCI.

Fatores	Dimensões	Questões do FCI
F1	1ª Lei de Newton + Cinemática	6, 7, 8, 10, 20, 23, 24
F2	2ª Lei de Newton + Cinemática	1, 2, 3, 9, 12, 14, 19, 21, 22, 27
F3	3ª Lei de Newton	4, 15, 16, 28
F4	Identificação de forças	5, 11, 13, 18, 29, 30
F5	Superposição	17, 25, 26

Fonte: Adaptado de Eaton (2021).

Cada questão do FCI utiliza concepções não-newtonianas como distratores. Dessa forma, a análise, conforme o Quadro 1, permite localizar o conjunto de concepções diagnosticadas por fator ou dimensão do teste. Isso oferece um diagnóstico conciso das dificuldades dos alunos nas leis de Newton, facilitando intervenções mais direcionadas.

Nesse percurso, essa investigação teve como ponto de partida um estudo piloto com 227 alunos do 1º ano do Ensino Médio, que identificou concepções não-newtonianas dominantes (Uibson; Frei, 2026). Com base nesses resultados, foi proposta uma intervenção pedagógica utilizando simulações computacionais para tratar tais concepções (Tabela 1).

Tabela 1 – Concepções não-newtonianas dominantes e fatores associados.

Concepções não-newtonianas dominantes	%	Fatores
Posição-velocidade não discriminada (K1)	86,4	F2
<i>Ímpetus</i> fornecido pelo ‘golpe’ (I1)	82,5	F4
Massa faz as coisas pararem (R1)	78,7	F2
Movimento implica força ativa (AF2)	78,5	F4
Objetos mais pesados caem mais rápido (G3)	73,7	F2
<i>Ímpetus</i> circular (I5)	62,3	F1 / F4
Dissipação do <i>Ímpetus</i> (I3)	55,8	F1 / F2 / F4
Movimento quando a força supera a resistência (R2)	54,7	F5

Fonte: Adaptado de Uibson e Frei (2026, p. 255).

Conforme os dados da Tabela 1, dentre as oito concepções não-newtonianas identificadas no estudo piloto (Uibson; Frei, 2026), três evidenciam a prevalência da ideia de *ímpetus* como causa do movimento ou de sua cessação (I1, I3 e I5). Esse achado corrobora outros estudos que apontam para a persistência dessa concepção, mesmo após intervenções pedagógicas, em diversos níveis de escolaridade (Brewer; Bruun; Bearden, 2016; Eaton;

Willoughby, 2018; Eaton; Vavruska; Willoughby, 2019; Scott; Schumayer, 2017). Foram verificadas também concepções relacionadas com a resistência quando um objeto está em movimento. Essa concepção (R1) reflete a persistência de ideias aristotélicas, nas quais a massa de um objeto é intrinsecamente ligada à sua tendência de repouso (Rezende; Barros, 2011), além da dificuldade de considerar a possibilidade de movimento em um objeto que apresenta um equilíbrio entre a força causadora deste movimento e uma força resistiva ao mesmo.

Concomitante ao supracitado, identificou-se a dificuldade dos alunos na discriminação de posição com velocidade (K1), fato já evidenciado em outras pesquisas (Bani-Salameh; Nuseirat; Alkofahi, 2017; Martín-Blas; Seidel; Serrano-Fernández, 2010). Outras concepções aristotélicas verificadas foram que movimento implica força ativa (AF2), ou seja, que para existir o movimento é preciso a ação contínua de uma força (Rezende; Barros, 2011) e a crença dos alunos de que objetos mais pesados caem mais rápidos (G3), conforme também observado por Poutot e Blandin (2015).

Assim, quando se observa o conjunto das oito concepções não-newtonianas encontradas por Uibson e Frei (2026), fazendo relação com os fatores estruturais do FCI (conforme Quadro 1), nota-se uma dominância média de 73,5% para o fator F2 e 69,5% para o fator F4. Ou seja, os maiores problemas, em termos de aprendizagem, da amostra avaliada dizem respeito a 2ª lei de Newton e a seus aspectos cinemáticos (F2) e a identificação das forças que atuam em um corpo (F4).

Essa investigação foi elaborada com base nos resultados do estudo piloto, que indicaram a necessidade de aprofundar a compreensão das questões de pesquisa apresentadas na Introdução.

IV. Materiais e Métodos

Esta investigação adotou a abordagem quantitativa, que permite testar teorias objetivas ao examinar a relação entre variáveis mensuradas por instrumentos e analisadas por procedimentos estatísticos (Creswell, 2010). Tal perspectiva destaca-se pelo potencial de explicar e esclarecer essas interações, viabilizando sua exploração inferencial (Fraenkel; Wallen; Hyun, 2012). Além disso, o estudo apresenta caráter descritivo ao buscar identificar essas conexões, conforme proposto por Gil (2017), com o objetivo principal de compreender os fatores que influenciam as concepções dos alunos a partir do uso de simulações computacionais.

A pesquisa adotou um delineamento quase-experimental, com aplicação de pré-teste e pós-teste em grupos controle (GC) e experimental (GE), definidos por conveniência. Esse tipo de estudo busca relações de causa e efeito, mesmo sem randomização completa dos participantes (Gil, 2017). O desenho da pesquisa pode ser observado na Fig. 3.



Fig. 3 – Desenho de pesquisa com GE e GC. Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Conforme ilustrado na Fig. 3, toda a amostra realizou o Pré-teste, em seguida foi subdividida em dois grupos: i) no grupo experimental, os alunos tiveram aulas dos conteúdos relacionados a 1ª e 2ª leis de Newton com o uso de simulações computacionais, e ao término, realizaram no laboratório de informática da escola atividades com as simulações; ii) no grupo controle, os alunos tiveram aulas dos mesmos conteúdos, porém sem as simulações e após seu término, realizaram em sala de aula a resolução de uma lista de exercícios sobre os conteúdos abordados. Por fim, ambos os grupos fizeram o Pós-teste, que foi idêntico ao Pré-teste.

IV.1 Participantes e Campos da Pesquisa

A amostra desta investigação foi composta por 445 alunos do 1º do Ensino Médio de duas escolas públicas do município de Lagarto-SE, representando 34,4% de todos os alunos matriculados nesta série no município, tendo como referência as matrículas em 2024 (INEP, 2025). Estes alunos são provenientes das mesmas escolas em que foi realizado o estudo piloto (Uibson; Frei, 2026). Partimos do princípio de que essas amostras são semelhantes (Tabela 2), fato que justifica, em média, que as oito concepções não-newtonianas identificadas na amostra do estudo piloto também refletem as características dessa amostra.

Tabela 2 – Dados das amostras.

Características	Amostra do Estudo Piloto	Amostra do Estudo Principal
Nº de ALUNOS	227	445
Feminino	142 (62,5%)	241 (54,2%)
Masculino	85 (37,5%)	204 (45,8%)
IDADE (média)	15,22	15,03
REPETENTES	14 (6,2%)	35 (7,9%)
COR		
Branca	58 (25,6%)	136 (30,6%)
Parda	137 (60,3%)	257 (57,7%)
Preta	24 (10,6%)	35 (7,9%)

	Outra	8 (3,5%)	17 (3,8%)
ENSINO FUNDAMENTAL			
	Todo em Escola Pública	127 (55,9%)	267 (60,0%)
	Todo em Escola Particular	42 (18,5%)	77 (17,3%)
	Maior parte em Escola Pública	34 (15,0%)	53 (11,9%)
	Maior parte em Escola Particular	24 (10,6%)	48 (10,8%)

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Conforme observado na Tabela 2, as amostras apresentam fortes semelhanças, ou seja, além de serem alunos das mesmas escolas e cursarem a mesma série do Ensino Médio, têm médias de idades muito próximas, o percentual de alunos repetentes nas duas amostras também são semelhantes, assim como as demais variáveis. Nas duas amostras, em sua maioria, os alunos cursaram o Ensino Fundamental todo ou maior parte em escola pública, geralmente, são provenientes das mesmas escolas públicas municipais da região, tendo assim uma mesma origem escolar.

Os 445 alunos deste estudo estavam distribuídos em 16 turmas com três professores (P1, P2 e P3) licenciados em Física (Fig. 4). Para a formação dos grupos controle (GC) e experimental (GE) foi considerada a paridade em relação ao gênero dos alunos e ao desempenho em Física para cada turma, contando com a contribuição dos professores nesse processo, em que se buscou uma distribuição equilibrada em quantidade para cada grupo.

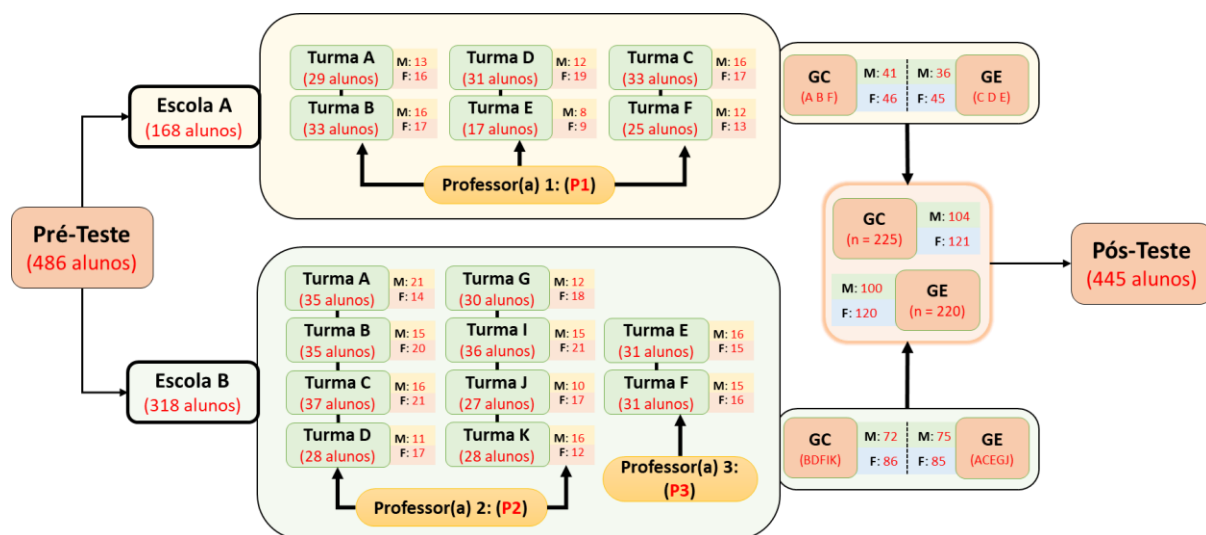


Fig. 4 – Formação dos grupos GE e GC. Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Como pode ser observado na Fig. 4, 486 alunos realizaram Pré-teste, desses, 41 não compareceram ao Pós-teste, resultando ao final em um grupo controle com 225 alunos e um grupo experimental com 220 alunos. O quantitativo de turmas para cada professor, assim como o número de alunos por turma reflete a realidade das escolas participantes. Em relação aos

professores, dois são do gênero masculino (P1 e P2) e uma do feminino (P3), todos aceitaram participar voluntariamente da pesquisa, assim como seus alunos, sendo que esta investigação respeitou todos os aspectos éticos conforme o projeto enviado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Humanos (CAAE: 68237523.4.0000.5546).

A pesquisa foi realizada em duas escolas urbanas do município de Lagarto-SE. A Escola A é referência local e apresenta IDEB de 4,7, superior aos índices municipal, estadual e nacional (INEP, 2024), contando com a participação do professor P1. A Escola B possui IDEB de 4,2, igual ao municipal e superior ao estadual e nacional, com participação dos professores P2 e P3 (Mello, 2024; INEP, 2024).

IV.2 Materiais utilizados

O delineamento desta pesquisa baseou-se no estudo piloto (Uibson; Frei, 2026), focado em oito concepções não-newtonianas dominantes (Tabela 1). Elas referem-se à 2ª Lei de Newton e seus aspectos cinemáticos (fator F2), bem como à identificação de forças em um corpo (fator F4). Na seleção dos conteúdos, incluiu-se também a 1ª Lei de Newton, pois, segundo Eaton e Willoughby (2020), avaliar a compreensão da 2ª Lei por meio do FCI exige considerar aspectos da Cinemática e da 1ª Lei.

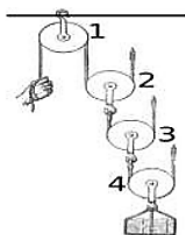
Nesse sentido, todos os alunos realizaram o pré-teste antes da abordagem dos conteúdos — ministrados de forma distinta para os grupos controle e experimental — e, posteriormente, o pós-teste. O intervalo entre as duas aplicações foi de aproximadamente 3,5 meses, considerado adequado para evitar o “efeito memória” decorrente do uso de testes idênticos (Henderson, 2002; Smith; Dai; Szelest, 2006).

No grupo controle, os professores adotaram suas metodologias habituais. As práticas variaram da seguinte forma: P1 utilizou cópia do conteúdo no quadro, exercícios, discussões, apostilas e experimentos (Fig. 5); P2 limitou-se à cópia no quadro e listas de exercícios, sem experimentos; e P3 aliou cópia no quadro e listas de exercícios a práticas experimentais mais espaçadas que as de P1.

A força F necessária para levantar um objeto de peso P é definida a partir do número de polias móveis (n), configurando a seguinte equação:

$$F = \frac{P}{2^n}$$

As polias 2, 3 e 4 do sistema a seguir são móveis.



A aplicação da equação anterior mostra que a força necessária para Elevar o objeto preso à polia 4 é igual à oitava parte do peso real do objeto.

$$F = \frac{P}{2^n} \Rightarrow F = \frac{P}{2^3} \Rightarrow F = \frac{P}{8}$$

Fig. 5 – Excerto da apostila disponibilizada por P1. Fonte: material do P1 (2026).

As aulas dos grupos controle (GC) e experimental (GE) ocorreram na ausência do pesquisador, a fim de evitar interferências no comportamento dos alunos e manter a rotina escolar. Após a conclusão dos conteúdos, os estudantes de ambos os grupos responderam à mesma lista de exercícios. No caso do GC (em duplas), o material incorporou imagens estáticas das telas do simulador (Fig. 6), garantindo a equivalência do conteúdo programático e isolando a interatividade computacional como a única variável diferencial entre os grupos.

QUESTÃO 01 Observe a sequência de eventos a seguir:

1) Aplicação de uma força de 100 N (da esquerda para direita) em um caixote durante 10s, numa superfície sem atrito.

2) Após os 10s do evento anterior, é aplicada uma força de 100 N (da direita para esquerda), durante 10 s.

3) Após os 10s do evento anterior, é aplicada uma força de 100 N (da direita para esquerda), durante 10 s.

4) Por fim, após os 10s do evento anterior, é aplicada uma força de 100 N (da esquerda para direita), durante 10 s. De acordo com seus conhecimentos em relação a 1ª Lei de Newton, julgue os itens a seguir.

Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas alternativas abaixo

- ☐ O movimento ocorre apenas quando a Força é aplicada em sua direção;
- ☐ Só é possível existir movimento se alguma Força agir no corpo;
- ☐ Mesmo se nenhuma Força agir no corpo, é possível que ocorra movimento;
- ☐ O vetor Força nem sempre está na direção do movimento;
- ☐ Quando nenhuma força age no corpo, o mesmo fica parado;
- ☐ A velocidade do corpo é a mesma na ausência de Força;
- ☐ O corpo sempre fica parado na ausência de Força;

Fig. 6 – Excerto da atividade do GC. Fonte: elaborado pelos autores (2026).

No grupo experimental, os conteúdos foram ministrados via *slides* com vários elementos ilustrativos (imagens, *gifs*, vídeos) elaborados pelo pesquisador (Fig. 7), contendo seis atividades com o simulador PhET. A aplicação seguiu o modelo de demonstração aberta (Araújo; Abib, 2003), no qual o professor opera o simulador permitindo questionamentos e interação dos alunos.

Introdução a DINÂMICA

DINÂMICA

É a parte da Física que estuda a relação entre **Força e Movimento**. Sua essência é estudar os **movimentos dos corpos e suas causas**, sem deixar de lado os conceitos de cinemática previamente estudados.

Um corpo só permaneceria em movimento se continuasse a agir sobre ele uma determinada força.

A tendência natural dos corpos, na ausência de forças externas, é de se manterem em repouso ou em movimento retilíneo uniforme.

Forças Específicas – SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Forças e Movimento: Noções Básicas

Atividades: 05 e 06

Atrito

Fig. 7 – Slides utilizados nas aulas do GE. Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Como demonstrado na Fig. 7, os slides continham diversos elementos gráficos para auxiliar o aprendizado. A simulação PhET usada em sala de aula pelos professores era a mesma que os alunos utilizariam posteriormente no laboratório de informática, permitindo a familiarização com os recursos. Nessa atividade, para a execução da atividade, os alunos, em

duplas, receberam um roteiro de simulação estruturado para orientar a exploração das variáveis no ambiente virtual. O professor e o pesquisador atuaram no laboratório como auxiliares, garantindo total autonomia dos estudantes no desenvolvimento da atividade, que incluía um questionário (Fig. 8).

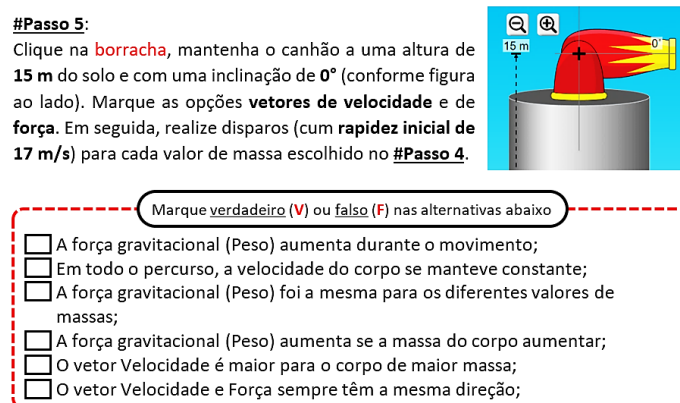


Fig. 8 – Excerto da atividade do GE. Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Após o término dessas atividades, conforme já mencionado, os alunos fizeram o Pós-teste, que foi igual ao Pré-teste. Ambos foram os principais instrumentos de produção de dados, que serão apresentados com mais detalhes a seguir.

IV.3 Coleta de dados

A coleta de dados sobre a compreensão conceitual em Física foi realizada através da aplicação de um teste constituído por 18 questões provenientes do FCI (Quadro 2), tendo por base as oito concepções não-newtonianas identificadas no estudo piloto (Uibson; Frei, 2026).

Quadro 2 – Estrutura do teste aplicado.

Nº	Questão FCI	Itens/Concepções					Fatores
		A	B	C	D	E	
1	1	G3	----	C	G3	----	F2
2	2	C	G3	----	G3	----	F2
3	5	----	C	AF2	AF2	AF2	F4
4	6	I5	C	----	----	----	F1
5	7	I5	C	----	I5	----	F1
6	8*	----	C	----	----	----	F1
7	11	----	I1	I1	C	----	F4
8	12	----	C	I3	I3	I3	F2
9	13	I3	I3	I3	C	----	F4
10	14	R1	R1	----	C	I3	F2
11	18	----	C	AF2	AF2	AF2	F4
12	19	----	K1	K1	K1	C	F2
13	23	----	C	----	I3	----	F1
14	24	C	----	I3	I3	I3	F1

15	25	R2	R2	C	R2	R2	F5
16	26	-----	R2	-----	I3	C	F5
17	27	AF2/R1	I3/R1	C	I1	-----	F2
18	30	-----	I1	C	I1	I1	F4

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

O Quadro 2 detalha a associação entre as questões do teste e as do FCI, indicando a concepção não-newtoniana (Tabela 1) e o fator avaliado (Quadro 1) de cada item. A alternativa correta é sinalizada por “C”, e os distratores não analisados nesta pesquisa são representados por linhas tracejadas. Embora a questão 6 (Q8 do FCI) não avalie uma concepção de interesse, ela é necessária para responder à questão 7. As 18 questões foram aplicadas no Pré-teste e Pós-teste, com tempo médio de 33 minutos. Foi aplicado um Questionário Perfil para caracterização da amostra e seus resultados serão apresentados na seção de Resultados e Discussão.

IV.4 Análises dos dados

Os dados de perfil dos alunos (gênero, faixa etária, uso de recursos tecnológicos e conhecimento prévio das leis de Newton, entre outros) foram analisados de forma descritiva. Em seguida, os dados do teste aplicado foram inicialmente avaliados pelo cálculo do percentual de acertos (Grupos Experimental e Controle no Pré-teste e Pós-teste). A normalidade dos dados foi verificada através do teste de Shapiro-Wilk (Torman; Coster; Riboldi, 2012), procedimento que guiou a escolha entre testes paramétricos ou não-paramétricos, com intervalo de confiança de 95%. As análises estatísticas foram realizadas com o software livre Jamovi, versão 2.3.28.

Para avaliar a efetividade da intervenção, calculou-se o ganho normalizado de aprendizagem “*g*” (Hake, 1998) para cada aluno e para cada turma (Fig. 9).

$$g = \frac{P_{pós} - P_{pré}}{100 - P_{pré}}$$

Fig. 9 – Fórmula do ganho normalizado. Fonte: Hake (1998).

Uma vez obtido o valor de “*g*”, foi realizada sua interpretação de acordo com o sugerido por Hake (1998), a saber: i) ganho baixo ($g < 0,3$); ii) ganho médio ($0,3 < g < 0,7$); iii) ganho alto ($g > 0,7$). Para o caso de a pontuação do Pós-teste ($P_{pós}$) ser inferior à do Pré-teste ($P_{pré}$), foi adotada a orientação de Coletta e Steinert (2020), considerando $g = 0$.

Foi calculado também o tamanho do efeito, o que torna possível realizar inferências sobre o impacto das atividades com simulações computacionais na aprendizagem dos conceitos físicos em estudo. Para tanto, adotou-se o *d* de Cohen (Cohen, 1988):

$$d = \frac{(M_2 - M_1)}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)DP_1^2 + (n_2 - 1)DP_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}}$$

Fig. 10 – Fórmula do tamanho do efeito – d de Cohen. Fonte: Cohen (1988).

O valor do d de Cohen pode ser interpretado da seguinte maneira: i) efeito insignificante ($d < 0,19$); ii) efeito pequeno ($0,20 < d < 0,49$); iii) efeito médio ($0,50 < d < 0,79$); iv) efeito grande ($0,80 < d < 1,29$); v) efeito muito grande ($d > 1,30$) (Espírito-Santo; Daniel, 2015). Em seguida, para complementar a análise, calculou-se o tamanho do efeito em linguagem comum (TDE-LC), proposto por McGraw e Wong (1992):

$$Z = \frac{|M_2 - M_1|}{\sqrt{DP_1^2 + DP_2^2}}$$

Fig. 11 – Fórmula para cálculo do TDE-LC. Fonte: Espírito-Santo e Daniel (2015).

A partir do cálculo de Z , faz-se o uso da tabela de distribuição normal e assim, é encontrada a probabilidade que representa o TDE-LC. Na seção a seguir serão apresentados os resultados e as discussões referentes a essas análises.

V. Resultados e Discussões

V.1 Perfil dos participantes

A média de idade da amostra desse estudo foi de 15 anos, em que 54,2% são do gênero feminino (F) e 45,8% masculino (M). Em relação as escolas participantes, essa proporção foi de: Escola A, feminino = 52% e masculino = 48%; Escola B, feminino = 55,3% e masculino = 44,7%. O grupo controle foi composto por 50,2% do gênero feminino e 49,8% do masculino. No grupo experimental 51% são do gênero feminino e 49% são do masculino.

Foi verificado que embora 85,2% dos alunos considerem o uso de tecnologias essencial ou importante para a aprendizagem, 86,7% relatam não utilizar o laboratório de informática da escola. Fora do ambiente escolar, contudo, 71,1% utilizam recursos tecnológicos para estudar.

Os resultados refletem o alto engajamento dos alunos do grupo experimental durante as atividades com simulações computacionais, evidenciado pelo entusiasmo, permanência além do horário escolar e solicitações para novas visitas ao laboratório de informática.

O uso limitado de laboratórios de informática é resultado da deficiência na formação de professores para o uso de tecnologias e ferramentas como as SCs (Gracindo; Fireman, 2010; Ruas; Macêdo, 2020). Além da falta de tempo para o planejamento e a infraestrutura inadequada dos laboratórios e equipamentos que também são barreiras significativas (Silva; Nunes;

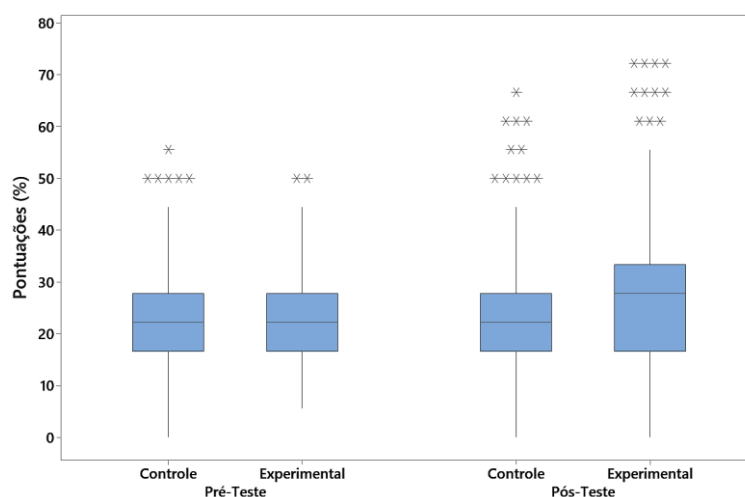
Mercado, 2016). Contrastando com o fato que o laboratório é uma “ferramenta em potencial para favorecer a aprendizagem significativa” (Oliveira *et al.*, 2018, p. 8).

Quanto ao conhecimento prévio das Leis de Newton, 67,2% dos alunos relataram nível pouco ou nenhum, 24,5% indicaram conhecimento razoável e 8,3% não informaram. Esse baixo domínio, em contraste com a baixa taxa de repetência do grupo (7,9%), sugere que a aprovação e a regularidade escolar não se traduziram em apropriação duradoura do conteúdo. Reforçando esse cenário, 62,2% manifestaram pouco ou nenhum conhecimento sobre a aplicação prática dessas leis no cotidiano. Esses dados endossam que a falta de articulação conceitual decorre de um ensino tradicionalmente descontextualizado. Portanto, torna-se crucial adotar práticas pedagógicas que vinculem o conteúdo à realidade dos estudantes, promovendo uma aprendizagem significativa (Jesus; Souza, 2023).

V.2 Impactos nos conteúdos conceituais

A ausência de normalidade dos dados (Pré-teste e Pós-teste), verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, direcionou a análise para a estatística não-paramétrica, utilizando-se o teste *U* de Mann-Whitney. No Pré-teste, verificou-se que os grupos eram estatisticamente semelhantes ($U = 24091$; $p = 0,622$). No Pós-teste, contudo, constatou-se uma diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($U = 20225$; $p < 0,001$), ilustrada no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Box plot das pontuações dos grupos no Pré-teste e Pós-teste.



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

O Gráfico 1 indica que o uso das simulações computacionais em sala de aula e no laboratório de informática afetou de forma significativa e positiva os conhecimentos conceituais do GE frente ao grupo controle. No Pós-teste, a mediana do GE superou a do GC e igualou-se ao seu terceiro quartil, demonstrando que o tratamento proposto foi especialmente efetivo para a metade do GE com pontuações superiores. Para avaliar a profundidade desse impacto, a

Tabela 3 apresenta os valores do tamanho de efeito (d de Cohen) e TDE-LC, estratificados por grupos, escolas e gênero.

Conforme a Tabela 3, ao avaliar a evolução interna de cada grupo (pré-teste versus pós-teste), o GE demonstrou um tamanho de efeito médio ($d = 0,51$; $TDE-LC = 64,0\%$), ao passo que o GC apresentou um efeito insignificante ($d = 0,17$; $TDE-LC = 54,7\%$). O contraste direto entre os dois grupos revelou um tamanho de efeito de $d = 0,33$ ($TDE-LC = 59,1\%$), confirmando que a intervenção com simulações computacionais influenciou de forma positiva e significativa a aprendizagem conceitual. Adicionalmente, a análise comparativa entre as instituições apontou um efeito médio favorável à Escola B em relação à Escola A ($d = 0,44$; $TDE-LC = 62,9\%$). Esse dado indica que, de maneira geral, há uma probabilidade de aproximadamente 63% de um estudante da Escola B apresentar desempenho superior ao de um estudante da Escola A, evidenciando uma assimetria no ganho de aprendizagem entre as duas escolas, independentemente do grupo analisado.

Tabela 3 – Tamanho do efeito de acordo com os grupos, escola e gênero.

	N	Pré-Teste (%)	Pós-Teste (%)	d de Cohen (TDE-LC)	
Experimental	220	21,82	27,90	0,51 (64,0%)	0,33 (59,1%)
Controle	225	21,58	23,51	0,17 (54,7%)	
Escola A	152	20,83	21,82	0,10 (52,7%)	0,44 (62,9%)
Escola B	293	22,15	27,68	0,44 (62,2%)	
Feminino	241	20,38	25,36	0,43 (62,1%)	0,05 (51,6%)
Masculino	204	23,26	26,06	0,23 (56,4%)	

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Na comparação entre o GE e o GC, ao contrastar o tamanho do efeito desta pesquisa ($d = 0,33$) com o índice de $d = 3,32$ reportado por Diola e Mistades (2021) em Força e Movimento, emergem disparidades metodológicas que justificam essa divergência. Os referidos autores conduziram uma pesquisa-ação restrita a uma única turma de 37 estudantes em um desenho intragrupo (pré-teste versus pós-teste), sem grupo controle. Na literatura estatística, amostras pequenas e a ausência de grupo controle tendem a inflar o tamanho do efeito, pois o índice absorve variáveis intervenientes, como a maturação dos sujeitos e a repetibilidade do teste. Em contrapartida, esta investigação adotou um delineamento quase-experimental robusto com amostra ampla e estável ($n = 445$ em 16 turmas), comparada a um grupo controle de base. Assim, o ganho obtido isola o impacto estrito da simulação frente ao ensino tradicional, conferindo alta validade ecológica ao refletir a fidedignidade e a reprodutibilidade da intervenção no cenário complexo da escola pública de larga escala.

Adicionalmente, ao confrontar estes achados com a revisão de Rutten, van Joolingen e van der Veen (2012), que aponta um teto de até $d = 1,5$ em quase-experimentos em Ciências, o instrumento de avaliação e o contexto de aplicação explicam a divergência. Modificar os

modelos mentais mapeados pelo *Force Concept Inventory* (FCI) — marcados por concepções alternativas não-newtonianas persistentes — é reconhecidamente mais desafiador do que registrar ganhos em testes procedimentais ou *ad hoc*, comuns na literatura revisada. No cenário desta investigação, essa transição conceitual profunda competiu com barreiras estruturais da escola pública, como a inexperiência digital dos estudantes (86,7% não utilizavam o laboratório de informática rotineiramente), gerando um “efeito de novidade” operacional que dividiu a atenção cognitiva com o conteúdo científico. Diante de uma intervenção inicial e pontual, o efeito verificado ($d = 0,33$) valida o potencial da simulação frente ao ensino tradicional e alinha-se à conclusão de Rutten e colaboradores de que ganhos mais expressivos requerem uma integração curricular contínua e de longo prazo.

Os ganhos obtidos em uma única aplicação sinalizam que o uso frequente de simulações no ensino de Física pode gerar resultados ainda melhores. Esse potencial de crescimento esbarra em dois fatores: *i*) a falta de familiaridade dos alunos com TDICs na rotina escolar, cuja habituação poderia elevar os desempenhos; e *ii*) a baixa frequência com que os professores utilizam esses recursos, devido a lacunas na formação ou a desafios da profissão docente (Silva; Nunes; Mercado, 2016). Para aprofundar esses resultados, analisou-se o ganho normalizado de aprendizagem “ g ” (Hake, 1998), apresentado na Tabela 4 a seguir:

Tabela 4 – Ganhos normalizados de acordo com os grupos, escola e gênero.

	N	Pré-Teste (%)	Pós-Teste (%)	Ganho Absoluto (Pós-Pré)	Ganho Normalizado (g)	Ganho Normalizado Médio (g^*)
Experimental	220	21,82	27,90	6,08	0,08	0,12
Controle	225	21,58	23,51	1,93	0,02	0,08
Escola A	152	20,83	21,82	0,99	0,01	0,07
Escola B	293	22,15	27,68	5,53	0,07	0,12
Feminino	241	20,38	25,36	4,98	0,06	0,11
Masculino	204	23,26	26,06	2,80	0,04	0,09

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Conforme os dados da Tabela 4, os ganhos normalizados nos grupos foram, $g_E = 0,08$ e $g_C = 0,02$, respectivamente. No entanto, é preciso ressaltar que 28,2% dos alunos do GE e 39,1% dos alunos do GC, reduziram seus desempenhos no Pós-teste, gerando um g negativo. Assim, seguindo as recomendações de Coletta e Steinert (2020) foi considerado $g = 0$ para esses alunos, sendo necessária uma correção no cálculo dos ganhos citados, nesse sentido, os ganhos normalizados corrigidos foram: $g^*_E = 0,12$ e $g^*_C = 0,08$, respectivamente. Esses ganhos refletem melhor a realidade dos desempenhos dos alunos e é considerado baixo pela classificação de Hake (1998). Valor de g semelhante foi encontrado por Diniz (2015) com alunos do mesmo nível escolar que os da amostra deste estudo. Outro aspecto a se observar é que $g^*_E = 1,50 g^*_C$, fato que atribui maior aprendizagem ao GE em relação ao GC, o que corrobora com a diferença significativa nos desempenhos dos dois grupos avaliados.

Em concordância com a literatura (Suárez; Pandiella; Benegas, 2023), o uso de SCs em nosso estudo resultou em ganhos significativos na aprendizagem de alunos do 1º ano do Ensino Médio. Algo também observado em estudos com níveis de ensino diferentes (Domelen; Heuvelen, 2002; Silva; Sales; Castro, 2019), sinalizando que métodos de ensino ativos são eficazes em diversos contextos, conteúdos e abordagens metodológicas, alinhando-se a pesquisas nacionais e internacionais.

Foi observada também uma diferença estatisticamente significativa no Pré-teste em relação ao gênero ($U = 20728$, $p = 0,004$), com um desempenho superior dos meninos. Essa situação foi equalizada no Pós-teste ($U = 23946$, $p = 0,635$), o que está de acordo com o maior ganho de aprendizagem das meninas, que foi $g^{*}_{Feminino} = 1,22g^{*}_{Masculino}$. Resultado semelhante ao do estudo piloto (Uibson; Frei, 2026), porém, divergente de algumas pesquisas nacionais e internacionais (Fernandes, 2011; Detoni, 2021; Madsen; McKagan; Sayre, 2013; Mears, 2019). O desempenho similar entre os gêneros pode estar relacionado ao maior engajamento das meninas nas atividades, conforme verificado por Rainey *et al.* (2018). Diante disso, Madsen, McKagan e Sayre (2013) enfatizam que é preciso considerar também a influência de fatores como o professor, as metodologias de ensino e as interações em sala de aula.

Em relação às escolas participantes, na ocasião do Pré-teste não foi verificada uma diferença significativa no desempenho dos alunos ($U = 20269$, $p = 0,115$), fato que mudou no Pós-Teste ($U = 17365$, $p < 0,001$). Ambas as escolas tiveram um pequeno ganho de aprendizagem (Tabela 4), porém a Escola B teve um melhor desempenho global de seus alunos, conforme sinalizado pelo maior valor de g desta escola: $g^{*}_{Escola_B} = 1,71g^{*}_{Escola_A}$. Tal fato pode estar associado ao maior engajamento nas atividades com a simulação computacional dos alunos da Escola B; inclusive estes alunos tiveram um melhor desempenho nestas atividades ($U = 27536$, $p = 0,014$). Além disso, entre as cinquenta maiores pontuações no Pós-teste, apenas três foram da Escola A, elevando a média da Escola B e o seu ganho normalizado.

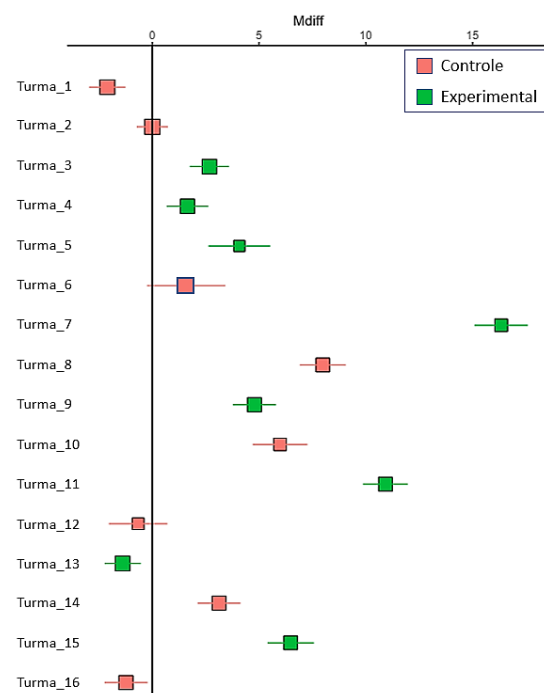
De forma complementar, outros fatores podem estar associados como a dinâmica entre proficiência tecnológica, o perfil de engajamento e a mediação pedagógica. Primeiro, a familiaridade prévia com a tecnologia dita o foco de atenção do estudante; conforme Windschitl e Andre (1998), maior destreza técnica permite que o aluno se concentre na reflexão científica do conteúdo, em vez de se dispersar com o manejo operacional do simulador. Segundo, o clima de cada turma afeta o engajamento; de acordo com Wu e Huang (2007) o sucesso com simulações requer engajamento cognitivo ativo e interativo, fato ocorrido mais na Escola A que na Escola B. Por fim, como sintetizam Rutten, van Joolingen e van der Veen (2012), o ganho de aprendizagem com simuladores é altamente sensível ao suporte instrucional em tempo real, sugerindo que sutis diferenças na orientação docente e no gerenciamento das atividades de informática na Escola B potencializaram os resultados obtidos.

Nesse contexto, há a necessidade de que estudos futuros analisem profundamente as características da Escola B, considerando por exemplo a proficiência tecnológica, o perfil de engajamento e a mediação pedagógica. Isso porque os resultados aqui apresentados vão de

encontro ao esperado em termos de desempenhos de seus alunos frente a Escola A, pois esta, inclusive, apresenta melhor pontuação do IDEB em relação a Escola B (INEP, 2024).

De forma a tecer maior compreensão sobre os resultados já discutidos, a seguir é apresentado graficamente como foi o desempenho relativo de cada turma em relação às suas médias no Pós-teste e Pré-teste (Gráfico 2), em que se observa a magnitude da diferença desse desempenho no eixo X (M_{diff}).

Gráfico 2 – Desempenho relativo das turmas no Pós-teste e Pré-teste.



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

No Gráfico 2, a linha vertical sobre o ponto na escala zero, delimita a sua direita, os ganhos positivos nas pontuações das turmas e a esquerda, o comportamento contrário. Das oito turmas experimentais, sete apresentaram ganhos de aprendizagem (Turmas 3, 4, 5, 7, 9, 11 e 15), enquanto que das oito sem a simulação, quatro obtiveram ganhos de aprendizagem (Turmas 6, 8, 10 e 14). É importante notar que as Turmas 11 e 7, apresentam os maiores ganhos pertencem ao grupo experimental. Por outro lado, mesmo sem o uso das simulações computacionais, as Turmas 8 e 10 destacam-se em ganhos de aprendizagem. Essas turmas fazem parte da Escola B, que obteve um melhor desempenho em relação a Escola A. Cabe salientar que essas mesmas turmas, juntamente à Turma 7 de melhor desempenho e ainda a Turma 15, foram supervisionadas pelo mesmo professor e que a interação entre simulação e professor pode ter contribuído no alcance de melhores resultados de aprendizado.

As quatro turmas do GC que obtiveram ganhos de aprendizagem, são compostas majoritariamente por meninas (58,6%), fato que pode justificar o aumento da pontuação no

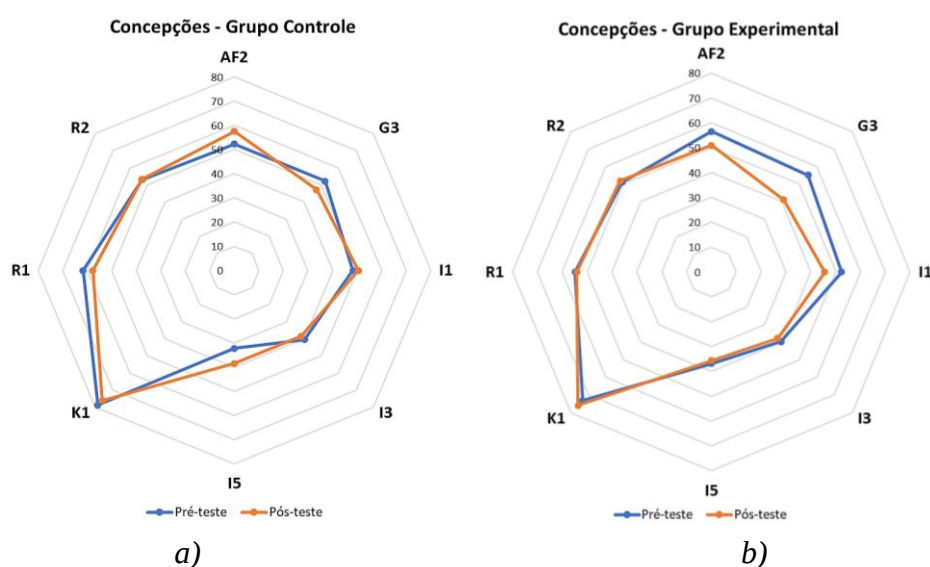
Pós-teste. Esse impacto foi mais evidente nas turmas 8 e 10, onde elas superaram os meninos. Em contrapartida, nas turmas 6 e 14, a ausência dessa superioridade feminina reduziu a média geral, aproximando a diferença de médias da linha vertical.

O desempenho superior da Turma 7 sugere que a maior interação com as simulações computacionais (SCs) facilita a compreensão de conceitos físicos, a visualização de fenômenos e o desenvolvimento da observação (Pastorio; Fragoso; Haiduk, 2021). Ademais, as SCs foram direcionadas pelas dificuldades identificadas no estudo piloto (Uibson; Frei, 2026), de forma flexível e sem amarras pedagógicas rígidas. Como destacam Velasco, Buteler e Coleoni (2024, p. 186), nessa abordagem “os alunos não usam apenas a simulação para pensar; ela é, na verdade, parte do que eles pensam”.

V.3 Impactos nas concepções não-newtonianas

Após a apresentação e discussão dos resultados sobre os efeitos da simulação computacional nos conhecimentos conceituais dos alunos, foi analisado também seu impacto nas concepções não-newtonianas dos alunos (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Evolução das concepções não-newtonianas.



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

O Gráfico 3 exibe morfologias distintas que discriminam a natureza da evolução conceitual de cada grupo. No Grupo Controle (Gráfico 3a), pequenas reduções isoladas configuram um padrão estocástico e sem coerência interna, caracterizado por flutuações bidirecionais de percentuais — um ruído de medição típico de respostas assistemáticas, sem reestruturação cognitiva real. Em contrapartida, o Grupo Experimental (Gráfico 3b) manifesta uma mudança direcionada, evidenciada pelo recuo sistemático nas taxas de erro e declínios estatisticamente robustos nas concepções AF2, G3 e I1. Esse contraste corrobora que a testagem

repetida no ensino tradicional gera apenas flutuações estocásticas, ao passo que a intervenção com simulações computacionais atua como elemento estruturante de uma transição conceitual coerente (Savinainen; Viiri, 2008; Scott; Schumayer, 2017).

No Grupo Controle, a concepção de *ímpetus* como explicação para o movimento persistiu por meio da manutenção das ideias I1 e I5. Essa resistência após a instrução formal é amplamente documentada na literatura (Brewer; Bruun; Bearden, 2016; Eaton; Vavruska; Willoughby, 2019; Eaton; Willoughby, 2018) e, segundo Scott e Schumayer (2017, p. 7), reforça “a crença que a causa do movimento de um objeto se deve a alguma propriedade inerente ao próprio objeto, ao contrário de ser uma interação entre objetos”. Em contrapartida, no Grupo Experimental, as concepções I1, I3 e I5 foram superadas após a intervenção com simulações computacionais, consolidando a compreensão de que o movimento resulta da interação entre corpos — com ou sem contato — e não de uma propriedade intrínseca ao objeto.

No GE (Gráfico 3b), a concepção G3 apresentou a superação mais notória. Ela postula que objetos mais massivos caem mais rápido em queda livre, contrariando o princípio de que, no vácuo, corpos de massas distintas abandonados da mesma altura atingem o solo simultaneamente. Essa crença, comum em alunos de baixo desempenho (Poutot; Blandin, 2015), foi superada nesse grupo a partir do avanço conceitual proporcionado pelas simulações computacionais.

Outra concepção superada no GE foi a AF2 (associação de movimento a uma força ativa), resultado alinhado a pesquisas sobre metodologias ativas (Bani-Salameh, 2017; Wells *et al.*, 2019). Por outro lado, a concepção R2 não foi superada por nenhum grupo, evidenciando a persistência na dificuldade de reconhecer o movimento quando a força resistiva iguala a força propulsora. Essa constatação converge com a literatura (Poutot; Blandin, 2015; Bani-Salameh; Nuseirat; Alkofahi, 2017), mas contrasta com Diola e Mistades (2021), que observaram a superação dessa concepção.

VI. Considerações e Implicações do Estudo

O estudo analisou o impacto de atividades com simulações computacionais (SCs) na aprendizagem de Força e Movimento no 1º ano do Ensino Médio. O contraste entre os 85,2% de alunos que consideram as tecnologias essenciais e os 86,7% que relatam a ausência de atividades laboratoriais evidencia um marcante descompasso entre a aspiração valorativa dos estudantes e a realidade estrutural da escola pública. Esse cenário reflete a dissociação entre o uso digital passivo dos jovens no cotidiano e a marginalização da tecnologia como instrumento de investigação científica na escola. Por fim, tal contradição justifica empiricamente esta intervenção, demonstrando que as SCs atuam justamente nessa lacuna ao canalizar o interesse tecnológico latente para práticas estruturadas de aprendizagem ativa — um desafio premente no campo educacional.

Nesse contexto é compreensível que os professores enfrentem dificuldades, muitas das quais decorrentes de lacunas em sua formação inicial e das múltiplas demandas da atividade

docente, que podem restringir o desenvolvimento e a implementação de práticas com tecnologias digitais. Considerando o potencial das TDICs em contextos educacionais, como o uso de simulações computacionais, é fundamental que tais recursos sejam integrados de forma mais efetiva às práticas pedagógicas, com o objetivo de promover uma aprendizagem mais significativa e eficaz para os estudantes.

A primeira questão de pesquisa verificou que as SCs afetaram positivamente a aprendizagem conceitual. A análise do ganho normalizado revelou que o grupo experimental obteve resultados 1,5 vezes superiores ao grupo controle, corroborando a literatura da área. Apesar disso, os ganhos absolutos situaram-se em patamares baixos. Esse comportamento é multifatorial: por um lado, reflete a complexidade intrínseca e o caráter contraintuitivo dos conceitos de Força e Movimento, cuja superação exige uma profunda reestruturação de concepções alternativas fortemente arraigadas; por outro, pode ter sido influenciado contextualmente pela pouca familiaridade dos estudantes com o recurso computacional no ambiente escolar, além de diferenças no perfil de engajamento e na mediação pedagógica.

Em relação ao gênero, houve equilíbrio no desempenho, contrastando com disparidades usuais e indicando maior engajamento das meninas. Observou-se a superioridade da Escola B em relação a Escola A, apesar desta última possuir melhor IDEB. Essa diferença pode estar associada à atuação docente, pois as turmas de P2 e P3 (Escola B) superaram as de P1 (Escola A). Conclui-se que a execução pedagógica pelo professor interfere significativamente no aprendizado, impactando alunos com baixos desempenhos.

Quanto às concepções não-newtonianas (2ª questão), o grupo controle apresentou padrão aleatório e persistência da crença no *ímpetus*. O grupo experimental, contudo, mostrou consistência na superação de seis concepções, com destaque para AF2, G3 e I1. Isso demonstra que as simulações computacionais contribuíram significativamente, processo que pode ser potencializado com modelos mais adequados.

Nesse sentido, os resultados desta investigação apresentam implicações relevantes tanto para o processo de ensino-aprendizagem em Física quanto para a pesquisa na área de ensino de Física (3ª questão de pesquisa). No âmbito prático, cabe incentivar o uso dos laboratórios de informática escolares para o desenvolvimento de simulações computacionais em diferentes tópicos da disciplina. Recomenda-se, contudo, uma incorporação gradual que respeite os desafios da rotina docente e evite impactos bruscos na aprendizagem. Vale destacar que as simulações se mostraram eficientes mesmo para estudantes sem familiaridade prévia com o recurso, e que a repetição planejada de certas atividades ao longo do ano pode consolidar significativamente esse aprendizado. Por fim, é notório que o papel do professor permanece central na proposição de situações didáticas que estimulem a interação e na integração intencional das TDICs.

No que diz respeito a pesquisa em ensino de Física, espera-se que esta investigação tenha contribuído com a pesquisa quantitativa em ensino, diante das análises realizadas e dos resultados obtidos.

VII. Limitações do estudo e perspectivas para pesquisas futuras

Embora os resultados obtidos indiquem contribuições relevantes do uso de simulações computacionais para a aprendizagem conceitual em Física, alguns limites inerentes ao delineamento adotado devem ser considerados na interpretação dos dados.

Inicialmente, destaca-se que a pesquisa foi conduzida em duas instituições públicas estaduais localizadas no estado de Sergipe, o que restringe a generalização dos resultados para outros contextos educacionais com características socioculturais, estruturais e pedagógicas distintas. Dessa forma, os achados devem ser compreendidos dentro das especificidades do contexto investigado. Ressalta-se, entretanto, que o estudo contou com um tamanho amostral expressivo de 445 alunos, o que confere maior robustez e consistência aos resultados obtidos.

Outro aspecto a ser considerado refere-se ao uso do *Force Concept Inventory* (FCI) como principal instrumento de coleta de dados. Embora o instrumento seja amplamente validado e reconhecido na literatura internacional para avaliação de concepções relacionadas à Mecânica Newtoniana, sua natureza objetiva privilegia predominantemente a mensuração do desempenho conceitual, não permitindo explorar em profundidade aspectos subjetivos do processo de aprendizagem, tais como percepções dos estudantes, estratégias cognitivas mobilizadas durante as atividades ou elementos motivacionais associados ao uso das SCs.

Adicionalmente, o tempo de intervenção pedagógica pode ter influenciado os valores de ganho normalizado identificados no estudo. Intervenções de maior duração poderiam potencialmente produzir efeitos mais amplos e duradouros na consolidação conceitual dos estudantes. Nesse sentido, pesquisas futuras podem ampliar a investigação mediante estudos longitudinais que acompanhem a permanência dos ganhos conceituais ao longo do tempo, bem como explorar diferentes níveis de ensino, redes educacionais e conteúdos da Física além dos conceitos de Força e Movimento.

Também se mostram relevantes investigações que integrem abordagens qualitativas ou métodos mistos, possibilitando compreender não apenas os resultados quantitativos da aprendizagem, mas também os processos cognitivos, interacionais e motivacionais envolvidos na utilização de simulações computacionais em sala de aula. Entrevistas, observações de aula, protocolos verbais e análise discursiva, por exemplo, poderiam fornecer elementos complementares para aprofundar a compreensão dos mecanismos pelos quais as TDICs influenciam a aprendizagem em Física.

Por fim, estudos futuros podem investigar comparativamente diferentes tipos de simulações computacionais, distintos modelos de mediação docente e formas variadas de integração das TDICs ao currículo escolar, contribuindo para o refinamento de práticas pedagógicas fundamentadas em evidências empíricas.

Agradecimento

Agradecemos fortemente aos alunos e professores que se disponibilizaram em participar desta pesquisa.

Referências bibliográficas

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, 2003.

AVILES, I. E. C.; GALEMBECK, E. Que é aprendizagem? como ela acontece? como facilitá-la? Um olhar das teorias de aprendizagem significativa de David Ausubel e aprendizagem multimídia de Richard Mayer. **Aprendizagem Significativa em Revista**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 1-19, 2017.

BANI-SALAMEH, H. N. How persistent are the misconceptions about force and motion held by college students? **Physics Education**, vol. 52, p. 1-8, Month 2017.

BANI-SALAMEH, H.; NUSEIRAT, M.; ALKOFARI, K. A. Do first year college female and male students hold different misconceptions about force and motion. **IOSR Journal of Applied Physics**, v. 9, n. 2, p. 14-18, 2017. DOI: <https://doi.org/10.9790/4861-0902021418>.

BAO, L.; KOENIG, K. Physics education research for 21st century learning. **Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research**, v. 1, n. 2, p. 1-12, 2019.

BAO, L.; REDISH, E. F. Concentration analysis: A quantitative assessment of student states. **American Journal of Physics**, v. 69, S45–S53, 2001.

BARBOSA, F. F. Alternativas utilizando tecnologias digitais da informação e comunicação para aulas de Ciências no contexto de pandemia. **RIEcm: Revista Interdisciplinar em Ensino de Ciências e Matemática**, Araguaína, v. 1, n. 1, p. 31-40, 2021.

BORK, A. **Computer assisted learning in physics education**. 1. ed. Pergamon Press: New York, 1980.

BREWE, E.; BRUUN, J.; BEARDEN, I. G. Using module analysis for multiple choice responses: A new method applied to Force Concept Inventory data. **Physical Review Physics Education Research**, v. 12, n. 2, 020131, 2016.

CAVASSANI, T. B.; ANDRADE, J. D. J. D.; MARQUES, R. N. Integração das TDIC na formação de professores: aproximações entre o modelo TPACK e a abordagem sociocultural. **Educação em Revista**, v. 40, p. e41245, 2024.

COELHO, R. O. O Uso da Informática no Ensino de Física de Nível Médio. 2002. 101 f. **Dissertação** (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2002.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. 2nd. ed. New York: Lawrence Erlbaum, 1988.

COLETTA, V. P.; STEINERT, J. J. Why normalized gain should continue to be used in analyzing preinstruction and postinstruction scores on concept inventories. **Physical Review Physics Education Research**, College Park, US, v. 16, n. 1, p. 10108, 2020.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 2. ed., Porto Alegre: Artmed, 2010.

DETONI, H. R. Investigando a compreensão conceitual em Física de alunos do ensino médio e o surgimento da “lacuna de gênero”. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, e20210113, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0113>.

DINIZ, A. C. O Implementação do Método Peer Instruction em aulas de Física no Ensino Médio. 2015. 140 f. **Dissertação** (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

DIOLA, J. R. G.; MISTADES, V. M. Addressing Students’ Misconceptions in Force and Motion Using Interactive Simulations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODERN EDUCATIONAL TECHNOLOGY (ICMET 2021), 3, 2021, New York. **Anais [...]**. New York: Association for Computing Machinery, 2021.

DOMELLEN, D. J. V.; HEUVELEN, A. V. The effects of a concept-construction lab course on FCI performance. **American Journal of Physics**, v. 70, n. 7, p. 779-780, 2002.

EATON, P. Evidence of measurement invariance across gender for the Force Concept Inventory. **Physical Review Physics Education Research**, v. 17, n. 1, 010130, 2021.

EATON, P.; VAVRUSKA, K.; WILLOUGHBY, S. Exploring the preinstruction and postinstruction non-Newtonian world views as measured by the Force Concept Inventory. **Physical Review Physics Education Research**, v. 15, n. 1, 010123, 2019.

EATON, P.; WILLOUGHBY, S. D. Confirmatory factor analysis applied to the Force Concept Inventory. **Physical Review Physics Education Research**, v. 14, n. 1, 010124, 2018.

EATON, P.; WILLOUGHBY, S. Identifying a preinstruction to postinstruction factor model for the Force Concept Inventory within a multitrait item response theory framework. **Physical Review Physics Education Research**, v. 16, n. 1, 010106, 2020.

ESPÍRITO-SANTO, H.; DANIEL, F. B. Calcular e apresentar tamanhos do efeito em trabalhos científicos (1): as limitações do $p < 0,05$ na análise de diferenças de médias de dois grupos. **Revista Portuguesa de Investigação Comportamental e Social**, Coimbra, v. 1, n. 1, p. 3-16, 2015. Doi: <https://doi.org/gm3m>.

FERNANDES, S. A. **Um estudo sobre a consistência de modelos mentais sobre mecânica de estudantes de ensino médio**. 2011. 212 f. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, MG, 2011.

FIOLHAIS, C.; TRINDADE, J. Física no Computador: o Computador como uma Ferramenta no Ensino e na Aprendizagem das Ciências Físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 259-272, 2003.

FRAENKEL, J. R.; WALLEN, N. E.; HYUN, H. H. **How to Design and Evaluate Research in Education**. 8. ed. New York: McGraw-Hill, 2012.

FREI, F. O Uso de Simulação para o Ensino de Estatística Inferencial: o caso do Teorema Central do Limite. **Revista de Educação Matemática REMat**, v. 18, p. 1-19, 2021.

GABUNILAS, L. M. Addressing Elementary Teachers' Alternative Conceptions in Force and Motion with an Interactive Computer Simulation. **International Journal of Physics**, v. 5, n. 5, p. 147-153, 2017. DOI: <https://doi.org/10.12691/ijp-5-5-1>.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GRACINDO, H. B. R.; FIREMAN, E. C. Laboratório de informática, os objetos digitais de aprendizagem e a visão do professor. **Revista EDaPECI**, v. 4, n. 4, 2010.

HAKE, R. R. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. **American Journal of Physics**, v. 66, n. 1, p. 64-74, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.18809>.

HENDERSON, C. Common concerns about the Force Concept Inventory. **The Physics Teacher**, v. 40, n. 9, p. 542-547, 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1119/1.1534822>.

HESTENES, D.; WELLS, M.; SWACKHAMER, G. Force concept inventory. **The Physics Teacher**, v. 30, n. 3, p. 141-158, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.2343497>.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. Índice de Desenvolvimento da Educação Básica, 2023. Brasília: Inep, 2024. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMGVjMzIwZWQtM2IzZS00NmE0LTkwNjUtZjI1YjMyNTVhZGY0IiwidCI6IjI2ZjczODk3LWM4YWMTNGIxZS05NzhmLWVhNGMwNzc0MzRiZiJ9>. Acesso em: 15 dez. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. Sinopse Estatística da Educação Básica 2024. Brasília: Inep, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/sinopses-estatisticas/educacao-basica>. Acesso em: 15 dez. 2025.

JAIME, D. M.; LEONEL, A. A. Uso de simulações: Um estudo sobre potencialidades e desafios apresentados pelas pesquisas da área de ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 46, e20230309, p. 1-5, 2024.

JESUS, R. S.; SOUZA, R. S. Ensino de Física contextualizado: estabelecendo relações entre a Termodinâmica e a Eletricidade. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 18, n. 2, p. 247-271, 2023.

LIMA, N.; CAVALCANTI, C.; OSTERMANN, F. Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, e20200270, 2021.

MADSEN, A.; MCKAGAN, S. B.; SAYRE, E. C. Gender gap on concept inventories in physics: What is consistent, what is inconsistent, and what factors influence the gap? **Physical Review Special Topics-Physics Education Research**, v. 9, n. 2, 020121, 2013.

MARTÍN-BLAS, T.; SEIDEL, L.; SERRANO-FERNÁNDEZ, A. Enhancing Force Concept Inventory diagnostics to identify dominant misconceptions in first-year engineering physics. **European Journal of Engineering Education**, v. 35, n. 6, p. 597-606, 2010.

McGRAW, K. O.; WONG, S. P. A common language effect size statistic. **Psychological Bulletin**, v. 111, n. 2, p. 361-365, 1992.

MEARS, M. Gender differences in the Force Concept Inventory for different educational levels in the United Kingdom. **Physical Review Physics Education Research**, v. 15, n. 2, 020135, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.020135>.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 77-86, 2002.

MEDEIROS JR., R. N.; NAIA, M. D.; LOPES, J. B. Simulações interativas do PhET nas práticas de ensino da Física: uma meta-análise. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 46, p. e20240186, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0186>.

MEGID-NETO, J. Três décadas de pesquisa em Educação em Ciências: tendências de teses e dissertações (1972-2003). In: NARDI, R. (Org.). **A pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil: alguns recortes**. São Paulo: Escrituras, 2007.

MELLO, J. S. O Grupo Escolar Sílvia Romero de asas novas em seu centenário. **Só Sergipe**, Sergipe, 15 de jan. de 2024. Disponível em: <https://www.sosergipe.com.br/o-grupo-escolar-silvia-romero-de-asas-novas-em-seu-centenario/>. Acesso em: 18 de jan. de 2025.

MISHRA, P.; KOEHLER, M. Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. **Teachers College Record**, Nova York, v. 108, n. 6, p. 1017-1054, jun. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>.

MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, suppl. 1, e20200451, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0451>.

OLIVEIRA, M. K. *et al.* Laboratório de informática no ensino de Ciências numa perspectiva CTSA a luz da teoria da aprendizagem significativa. **Revista Areté | Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, v. 11, n. 23, p. 99-108, mar. 2018.

PASTORIO, D. P.; FRAGOSO, T. A.; HAIDUK, F. M. Ressignificando problemas de lápis e papel: uma reflexão sobre a prática de resolução de problemas através de simulações computacionais. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, São Paulo, v. 12, n. 6, p. 1-26, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26843/rencima.v12n6a16>.

PASTORIO, D. P.; SAUERWEIN, R. A. O papel do computador em atividades didáticas: um olhar para o ensino de Física. **CINTED-UFRGS: Novas Tecnologias na Educação**, v. 13, n. 1, julho, 2015.

POUTOT, G.; BLANDIN, B. Exploration of Students' Misconceptions in Mechanics using the FCI. **American Journal of Educational Research**, v. 3, n. 2, p. 116-120, 2015.

RAINEY, K. *et al.* Race and gender differences in how sense of belonging influences decisions to major in STEM. **International Journal of STEM Education**, v. 5, n. 10, 1-14, 2018.

REZENDE, F.; BARROS, S. S. Teoria aristotélica, teoria do ímpetus ou teoria nenhuma: um panorama das dificuldades conceituais de estudantes de Física em mecânica básica. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 1, n. 1, p. 1-14, 2011.

RUAS, I. P. de A.; MACÊDO, J. A. de. O uso do laboratório de informática no ensino de Matemática nas escolas de Januária. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, [S. l.], v. 3, n. 1, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5335/rbecm.v3i1.9955>.

RUTTEN, N.; VAN JOOLINGEN, W. R.; VAN DER VEEN, J. T. The learning effects of computer simulations in science education. **Computers & Education**, v. 58, n. 1, p. 136-153, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>.

SAVINAINEN, A.; VIIRI, J. The Force Concept Inventory as a Measure of Students Conceptual Coherence. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 6, p. 719-740, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10763-007-9103-x>.

SCOTT, T. F.; SCHUMAYER, D. Conceptual coherence of non-Newtonian worldviews in Force Concept Inventory data. **Physical Review Physics Education Research**, v. 13, n. 1, 010126, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010126>.

SHULMAN, L. Those who understand: knowledge growth in teaching. **Educational Researcher**, Washington, v. 15, n. 2, p. 4-14, fev. 1986.

SILVA, A. P. B.; FORATO, T. C. M.; GOMES, J. L. A. M. C. Concepções sobre a natureza do calor em diferentes contextos históricos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 3, p. 492-537, dez. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2013v30n3p492>.

SILVA, I. P.; NUNES, E. T.; MERCADO, L. P. L. Experimentos virtuais no estágio supervisionado de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 1115-1144, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p1115>.

SILVA, J. B.; SALES, G. L.; CASTRO, J. B. Gamificação como estratégia de aprendizagem ativa no ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 4, p. e20180309, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0309>.

SMITH, J. S.; DAI, D. Y.; SZELEST, B. P. Helping first-year students make the transition to college through advisor-researcher collaboration. **NACADA Journal**, Manhattan, v. 26, n. 1, p. 67-76, 2006. DOI: <https://doi.org/10.12930/0271-9517-26.1.67>.

SUÁREZ, M.; PANDIELLA, S.; BENEGAS, J. Tutorials+ PhET: a simple and efficient active-learning approach for the teaching of kinematics of circular motion in a technically-oriented high school. **Physics Education**, v. 58, n. 3, p. 035005, 2023.

TORMAN, V. B. L.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. **Revista HCPA**, Porto Alegre, v. 32, n. 2, p. 227-234, 2012.

UIBSON, J.; FREI, F. Investigação dos impactos nas concepções não-newtonianas de licenciandos e egressos de Física em relação aos conceitos de Força e Movimento. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 29, e23017, p. 1-15, 2023.

UIBSON, J.; FREI, F. Simulações computacionais no ensino de Física: a introdução do computador no ambiente escolar. In: BIANCHESSI, C. (org.). **Tecnologias digitais na educação: dos limites às possibilidades**. 1. ed. v. 7. Curitiba: Editora Bagai, 2024. p. 79-90. DOI: <https://doi.org/10.37008/978-65-5368-477-5.20.09.24>.

UIBSON, J.; FREI, F. Uso da análise de concentração como ferramenta para aprofundar a compreensão dos conhecimentos dos alunos. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 25, n. 2, p. 241-263, 2026. Disponível em: https://reec.uvigo.es/volumenes/volumen25/REEC_25_2_4_ex2303_1215.pdf. Acesso em: 25 maio 2026.

VELASCO, J. J.; BUTELER, L. M.; COLEONI, E. A. Learning with computer simulations: a case study on reservoir temperatures in carnot cycles. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 29, n. 3, p. 172-190, 2024. DOI: <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2024v29n3p172>.

WELLS, J. *et al.* Exploring the structure of misconceptions in the Force Concept Inventory with modified module analysis. **Physical Review Physics Education Research**, v. 15, n. 2, p. 1-18, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.020122>.

WHEATLEY, C. *et al.* Comparing conceptual understanding across institutions with module analysis. **Physical Review Physics Education Research**, v. 18, n. 2, p. 1-18, 2022.

WINDSCHITL, M.; ANDRE, T. Using computer simulations to enhance conceptual change: the roles of constructivist instruction and student epistemological beliefs. **Journal of Research in Science Teaching**, Hoboken, v. 35, n. 2, p. 145-160, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199802\)35:2%3C145::AID-TEA5%3E3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199802)35:2%3C145::AID-TEA5%3E3.0.CO;2-8).

WU, H.-K.; HUANG, Y.-L. Ninth-grade student engagement in teacher-centered and student-centered technology-enhanced learning environments. **Science Education**, Hoboken, v. 91, n. 5, p. 727-749, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.20216>.



Direito autoral e licença de uso: Este artigo está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).