

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

ANA CLAUDIA BARBOSA SALGADO

**INVESTIGAÇÃO DA FORÇA DE ATRITO: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA A
EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS DE ATRITO ESTÁTICO E CINÉTICO**

FORTALEZA

2026

ANA CLAUDIA BARBOSA SALGADO

**INVESTIGAÇÃO DA FORÇA DE ATRITO: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA A
EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS DE ATRITO ESTÁTICO E CINÉTICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Ceará, Polo 43, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Nildo Loiola Dias

FORTALEZA

2026

ANA CLAUDIA BARBOSA SALGADO

**INVESTIGAÇÃO DA FORÇA DE ATRITO: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA A
EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS DE ATRITO ESTÁTICO E CINÉTICO**

Dissertação apresentada ao Polo 43 do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.
Área de concentração: Ensino de Física.

Aprovada em: 15/05/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Nildo Loiola Dias - Orientador
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. João Guilherme Matias
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Nizomar de Sousa Gonçalves
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado do Ceará (IFCE)

A Deus.

Aos meus pais, Francisco Salgado e Nilza.

Aos meus netos, Maria Lua, Benjamin, Cecília
e João Miguel.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Nildo Loiola Dias, pela orientação segura, pela paciência e pelas valiosas contribuições que foram essenciais para o amadurecimento desta pesquisa e para a minha formação acadêmica.

Aos professores participantes da banca examinadora, Dr. João Guilherme Matias e Dr. Nizomar de Sousa Gonçalves, agradeço cordialmente pela generosidade em aceitar o convite para avaliar essa pesquisa. Suas ricas observações e sugestões, pautadas em profunda competência acadêmica, trouxeram novos horizontes para a discussão sobre o ensino da Força de Atrito e contribuíram significativamente para a validação metodológica e pedagógica da sequência didática e dos aparatos experimentais propostos.

À minha família, o meu porto seguro. Um agradecimento profundamente especial a Ronaldo Salgado, cujo apoio foi pilar fundamental nesta etapa; a leitura atenta, as revisões minuciosas e o incentivo constante foram o combustível que me impediu de desanimar nos momentos de dificuldade.

Aos meus professores do MNPEF, pela excelência na condução deste mestrado. A dedicação e o rigor científico com que guiaram as disciplinas foram essenciais para a minha evolução como docente.

Aos meus colegas de mestrado, companheiros de jornada. Em especial, agradeço ao colega José Anderson Ferreira de Oliveira, pela generosidade e parceria técnica na construção do kit experimental; sua ajuda foi vital para que este projeto se materializasse.

A Marcos Antônio Moreira de Souza, pai dos meus filhos, pelo apoio prático e pelo olhar atento ao registrar, através das fotografias, cada etapa deste trabalho.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, acreditaram na educação e na ciência como ferramentas de transformação, o meu mais sincero muito obrigada.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Cada um de nós deve trabalhar para o seu próprio aperfeiçoamento. O caminho não é esperar que a inércia se desfça, mas ser a força que gera a mudança (Curie, 1923, p. 54).

RESUMO

O ensino da Mecânica Clássica no Ensino Médio, especificamente o estudo das Forças de Atrito, frequentemente esbarra em concepções alternativas que os estudantes trazem do senso comum, as quais resistem às abordagens meramente expositivas e teóricas. Sob essa perspectiva, a presente dissertação, intitulada, *Investigação da Força de Atrito – uma Sequência Didática para a Evolução dos Conceitos de Atrito Estático e Cinético*, busca promover a evolução conceitual sobre a natureza e o comportamento das Forças de Atrito. Esta dissertação apresenta o desenvolvimento e a fundamentação de um produto educacional que se apoia em atividades experimentais de fácil acesso. A metodologia fundamenta-se na necessidade de colocar o estudante como protagonista do processo de aprendizagem, utilizando a experimentação, não apenas como demonstração, mas como uma ferramenta de investigação científica capaz de desafiar obstáculos epistemológicos. A fundamentação teórica ancora-se no Socioconstrutivismo de Vygotsky, na Aprendizagem Significativa de Ausubel e no Pragmatismo Educacional de Dewey, utilizando a experimentação investigativa e a ludicidade como ferramentas de mediação na Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP). O aparato experimental desenvolvido inclui planos horizontal e inclinado, ajustados por um sistema hidráulico, além de uma demonstração lúdica com carrinho de controle remoto para abordar o atrito motor. O diferencial tecnológico do produto reside no Plano Inclinado com sistema de elevação hidráulica (seringas), que permite um controle preciso do ângulo crítico, eliminando vibrações comuns em aparatos manuais. A pesquisa seguiu uma abordagem qualitativa e quantitativa com abordagem investigativa mediante aplicação de questionários pré e pós-teste. Os resultados revelaram uma evolução conceitual significativa, em que os alunos superaram a visão do senso comum, passando a identificar o atrito como elemento essencial para a propulsão e o movimento. O produto demonstrou alta replicabilidade e eficácia em despertar o engajamento e a literacia científica em escolas com recursos limitados.

Palavras-chave: ensino de Física; força de atrito; plano inclinado hidráulico; aprendizagem significativa; produto educacional.

ABSTRACT

The teaching of Classical Mechanics in High School, specifically the study of Friction Forces, frequently faces alternative conceptions that students bring from common sense, which resist merely expository and theoretical approaches. From this perspective, this master's thesis, titled "Investigation of Friction Force – a Didactic Sequence for the Evolution of Static and Kinetic Friction Concepts," seeks to promote conceptual evolution regarding the nature and behavior of Friction Forces. This dissertation presents the development and foundation of an educational product supported by accessible experimental activities. The methodology is based on the need to place the student as the protagonist of the learning process, using experimentation not just as a demonstration, but as a scientific investigation tool capable of challenging epistemological obstacles. The theoretical framework is anchored in Vygotsky's Socioconstructivism, Ausubel's Meaningful Learning, and Dewey's Educational Pragmatism, utilizing investigative experimentation and playfulness as mediation tools in the Zone of Proximal Development (ZPD). The developed experimental apparatus includes horizontal and inclined planes, adjusted by a hydraulic system, in addition to a playful demonstration with a remote-controlled car to address motor friction. The technological hallmark of the product lies in the Inclined Plane with a hydraulic lifting system (syringes), which allows precise control of the critical angle, eliminating vibrations common in manual apparatus. The research followed a qualitative and quantitative approach with an investigative focus through the application of pre- and post-test questionnaires. The results revealed a significant conceptual evolution, in which students overcame common-sense views, identifying friction as an essential element for propulsion and motion. The product demonstrated high replicability and effectiveness in sparking engagement and scientific literacy in schools with limited resources.

Keywords: Physics teaching; friction force; hydraulic inclined plane; meaningful learning; educational product.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Galileu contestando Aristóteles	36
Figura 2 –	Réplica do plano inclinado idealizado por Galileu	37
Figura 3 –	Representação do vetor \vec{a}	39
Figura 4 –	Vetores iguais	40
Figura 5 –	Vetores opostos	40
Figura 6 –	Soma de vetores: método polígono	41
Figura 7 –	Soma de vetores: método do paralelogramo	41
Figura 8 –	Componentes do vetor \vec{d}	43
Figura 9 –	Representação das forças que atuam em um corpo	51
Figura 10 –	Forças que atuam no bloco no plano horizontal	53
Figura 11 –	Forças que atuam no bloco no plano inclinado	54
Figura 12 –	Forças que atuam nos blocos	56
Figura 13 –	Forças que atuam no bloco se deslocando espontaneamente em um plano inclinado	57
Figura 14 –	QR Code do Questionário diagnóstico	63
Figura 15 –	QR Code do Roteiro de Demonstrações	65
Figura 16 –	Plano Horizontal	66
Figura 17 –	Bloco 01	66
Figura 18 –	Experimento 01: Atrito estático	67
Figura 19 –	Experimento 01: Atrito Cinético	67
Figura 20 –	Aumento da Força Normal	69
Figura 21 –	Teste do aumento da Força Normal	69
Figura 22 –	Aparato do Experimento 03	70
Figura 23 –	Sistema hidráulico do experimento 03	70
Figura 24 –	Compressão da seringa	71
Figura 25 –	Inclinação do plano inclinado	71
Figura 26 –	Dispositivo reserva do aumento da inclinação	72
Figura 27 –	Face A em contato com o Plano	73
Figura 28 –	Face B em contato com o Plano	73
Figura 29 –	Carrinho sobre a folha de PVC	74
Figura 30 –	Carrinho em movimento sobre o PVC	74

Figura 31 –	QR CODE do Questionário 02	75
Figura 32 –	QR CODE do Questionário 03	77
Figura 33 –	Plano horizontal	85
Figura 34 –	Plano inclinado	85
Figura 35 –	Bases do plano	85
Figura 36 –	Parafusos médios	85
Figura 37 –	Parafuso tipo L	86
Figura 38 –	Seringa descartável	86
Figura 39 –	Mangueira transparente	86
Figura 40 –	Palito de churrasco	86
Figura 41 –	Dobradiças	86
Figura 42 –	Parafusos para dobradiça	86
Figura 43 –	Bloco 1	86
Figura 44 –	Bloco 2	86
Figura 45 –	Bloco 3	86
Figura 46 –	Bloco 4	86
Figura 47 –	Carrinho de controle remoto	86
Figura 48 –	Lápis de cor	87
Figura 49 –	Folha de PVC	87
Figura 50 –	Bases de PVC do Plano Horizontal	88
Figura 51 –	Polia plástica do sistema de tração	89
Figura 52 –	Sistema de tração	89
Figura 53 –	Gancho com arruelas	89
Figura 54 –	Dobradiças do plano inclinado	90
Figura 55 –	Plano inclinado	90
Figura 56 –	Sistema hidráulico de inclinação do plano	91
Figura 57 –	Bloco revestido com lixa N° 40	92
Figura 58 –	Bloco revestido com tecido	92
Figura 59 –	Entrada da EEMTI Professora Maria Gonçalves	93
Figura 60 –	Aplicação do Questionário 01	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Composição do Produto Educacional	61
Quadro 2 –	Cronograma do Produto Educacional	62
Quadro 3 –	Questionário 01	63
Quadro 4 –	Questionário 02	75
Quadro 5 –	Questionário 03: Avaliação do Produto	77
Quadro 6 –	Descrição dos materiais usados nos experimentos	83
Quadro 7 –	Especificações e Registros Fotográficos dos Materiais	85
Quadro 8 –	Detalhamento das superfícies de contato	87
Quadro 9 –	Registros da Aplicação da Sequência Didática	94
Quadro 10 –	Registros da Aplicação da Sequência Didática	95
Quadro 11 –	Análise Quantitativa de cada item assinalado do Questionário 01	96
Quadro 12 –	Análise Quantitativa de cada item assinalado do Questionário 02	100
Quadro 13 –	Análise Quantitativa de cada item assinalado do Questionário 03	107
Quadro 14 –	Análise comparativa de resultados e evolução de conflitos cognitivos	109

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 –	Resultado percentual por item assinalado	96
Gráfico 2 –	Resultado percentual por item assinalado	97
Gráfico 3 –	Resultado percentual por item assinalado	97
Gráfico 4 –	Resultado percentual por item assinalado	97
Gráfico 5 –	Resultado percentual por item assinalado	97
Gráfico 6 –	Resultado percentual por item assinalado	97
Gráfico 7 –	Resultado percentual por item assinalado	98
Gráfico 8 –	Resultado percentual por item assinalado	98
Gráfico 9 –	Resultado percentual por item assinalado	98
Gráfico 10 –	Resultado percentual por item assinalado	98
Gráfico 11 –	Resultado percentual por item assinalado	101
Gráfico 12 –	Resultado percentual por item assinalado	101
Gráfico 13 –	Resultado percentual por item assinalado	101
Gráfico 14 –	Resultado percentual por item assinalado	101
Gráfico 15 –	Resultado percentual por item assinalado	102
Gráfico 16 –	Resultado percentual por item assinalado	102
Gráfico 17 –	Resultado percentual por item assinalado	102
Gráfico 18 –	Resultado percentual por item assinalado	102
Gráfico 19 –	Resultado percentual por item assinalado	103
Gráfico 20 –	Resultado percentual por item assinalado	103
Gráfico 21 –	Resultado percentual por item assinalado	107
Gráfico 22 –	Resultado percentual por item assinalado	107
Gráfico 23 –	Resultado percentual por item assinalado	107
Gráfico 24 –	Resultado percentual por item assinalado	108
Gráfico 25 –	Resultado percentual por item assinalado	108
Gráfico 26 –	Resultado percentual por item assinalado	108
Gráfico 27 –	Resultado percentual por item assinalado	108
Gráfico 28 –	Resultado percentual por item assinalado	108
Gráfico 29 –	Resultado percentual por item assinalado	109
Gráfico 30 –	Resultado percentual por item assinalado	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABP	Aprendizagem Baseada em Problemas
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
EJA	Educação de Jovens e Adultos
EM	Ensino Médio
EVA	Etil Vinil Acetato
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
MEC	Ministério da Educação
MNPEF	Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PCN+	Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais
PVC	<i>Polyvinyl Chloride</i> (Policloreto de Vinila)
SBF	Sociedade Brasileira de Física
SNEF	Simpósio Nacional de Ensino de Física
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
ZDP	Zona de Desenvolvimento Proximal

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Aceleração do corpo
g	Aceleração da gravidade local
θ	Ângulo de inclinação do plano (letra grega teta)
μ_c	Coefficiente de atrito cinético
μ_e	Coefficiente de atrito estático
μ	Coefficiente de atrito genérico (letra grega mi)
P_x	Componente da força peso paralela ao plano inclinado
P_y	Componente da força peso perpendicular ao plano inclinado
Fat_M	Força de atrito estático máxima (iminência de movimento)
Fat_c	Força de atrito cinético
\vec{P}	Força Peso
\vec{N}	Força de reação normal da superfície
ΣF	Força resultante (soma vetorial de todas as forças)
\vec{T}	Força de tração (em fios ou cordões)
cos	Função trigonométrica cosseno
sen	Função trigonométrica seno
tan	Função trigonométrica tangente
F	Intensidade da força aplicada
M	Massa do bloco de madeira (no aparato experimental)
m	Massa de um corpo ou objeto
P_B	módulo do Peso do bloco
P_s	módulo do peso do corpo suspenso
\vec{a}	Vetor a
\vec{b}	Vetor b

\vec{p} Vetor Quantidade de movimento

$\frac{dp}{dt}$ Taxa de variação temporal da quantidade de movimento (momento linear)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	TEORIAS DE APRENDIZAGEM PARA O ENSINO DE FÍSICA	19
2.1	Teoria Sociocultural de Lev Vygotsky	20
2.2	David Ausubel: Aprendizagem Significativa	23
2.3	John Dewey: a centralidade da experiência	24
2.4	A Ludicidade como Estratégia Pedagógica e Facilitadora da Aprendizagem	26
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE TRABALHOS CORRELATOS	28
3.1	Análise da Dissertação de Schreiber (2021)	28
3.2	Análise da Dissertação de Lima (2023)	30
3.3	Análise da Dissertação de Storch (2021)	31
3.4	Análise do Artigo de Monteiro, Monteiro e Gaspar (2012)	32
3.5	Análise do Artigo de Fernandes e Auth (2015)	33
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO ESTUDO DA FORÇA DE ATRITO	34
4.1	Legado de Aristóteles	34
4.2	Ideias de Galileu Galilei	35
4.3	Vetores	38
4.4	Grandezas Escalares e Vetoriais	38
4.5	Representação de Vetores	39
4.6	Propriedades dos Vetores	39
4.7	Adição de Vetores	40
4.8	Decomposição de Vetores	42
4.9	Leis de Newton	43
4.9.1	<i>Primeira Lei de Newton</i>	43
4.9.2	<i>Segunda Lei de Newton</i>	43
4.9.3	<i>Terceira Lei de Newton</i>	44
4.10	Força de atrito	45
4.11	Leonardo da Vinci e as Fundações Empíricas do Estudo do Atrito: uma ponte histórica para o Ensino de Física	47
4.12	As Quatro Leis do Atrito de Leonardo da Vinci	48
4.13	Cálculo do Coeficiente de Atrito Estático em um Plano Horizontal	49
4.14	Cálculo do Coeficiente de Atrito Cinético no plano horizontal com velocidade	

constante	51
4.15 Cálculo do Coeficiente de Atrito Estático e Cinético no Plano Inclinado para Corpos em equilíbrio	53
4.16 Cálculo do coeficiente de Atrito Cinético em Condição de Aceleração Constante	55
4.17 Cálculo do Coeficiente de Atrito Cinético em um Plano Inclinado sob Movimento Espontâneo	56
4.18 Considerações sobre Atrito de Rolamento com ou sem Deslizamento	58
5 ESTRUTURA DO PRODUTO EDUCACIONAL	60
5.1 O Produto Educacional – Atrito: O Paradoxo do Movimento	60
5.2 Cronograma de Aplicação do Produto Educacional	61
5.3 Etapa I – Sondagem de Concepções Prévias	62
5.4 Etapa II – O Aparato Experimental e a Investigação Prática	64
5.4.1 <i>Experimento 1 – Determinação do Coeficiente de Atrito Estático e Cinético no Plano Horizontal</i>	65
5.4.2 <i>Experimento 2 – Influência da Força Normal no Coeficiente de Atrito</i>	68
5.4.3 <i>Experimento 3 – Determinação do Coeficiente de Atrito Estático e Cinético no Plano Inclinado</i>	69
5.4.4 <i>Experimento 4 – Influência da Área de Contato no Coeficiente de Atrito</i>	72
5.4.5 <i>Demonstração Lúdica da Força de Atrito</i>	73
5.5 Etapa III – Questionário Avaliativo 02: Pós-Experimentos	74
5.6 Etapa IV – Questionário 03 – Avaliação do Produto Educacional	76
6 METODOLOGIA DA PESQUISA E DETALHAMENTO TÉCNICO	79
6.1 Natureza da Pesquisa por Meio da Experimentação	79
6.2 Contexto e Sujeitos da Pesquisa	81
6.3 O Produto Educacional: Atrito – O Paradoxo do Movimento	82
6.3.1 <i>Concepção Pedagógica e a Sequência de Atividades</i>	82
6.3.2 <i>Cronograma e Dinâmica de Aplicação</i>	83
6.4 Detalhamento Técnico do Aparato Experimental	83
6.5 Descrição da Montagem e Funcionalidade	87
6.5.1 <i>Plano Horizontal</i>	87
6.5.2 <i>Plano Inclinado</i>	89
6.5.3 <i>Sistema Hidráulico de Elevação do Plano Inclinado</i>	90

7	ANÁLISE DOS RESULTADOS	93
7.1	Perfil da Turma e Aplicação	93
7.2	Análise dos Resultados e Conflitos Cognitivo do Questionário 01	96
7.3	Avaliação da Aprendizagem Pós-Intervenção: Resultados e Evolução Conceitual	100
7.4	Avaliação do Produto Educacional	106
7.5	Análise comparativa e superação dos conflitos cognitivos.....	109
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
	REFERÊNCIAS	114
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO 01	117
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO 02	120
	APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO 03	123
	APÊNDICE D – PRODUTO EDUCACIONAL: ATRITO – O PARADOXO DO MOVIMENTO	1

1 INTRODUÇÃO

O estudo sobre movimentos e forças é indispensável à civilização e ao modo de vida da sociedade moderna. Esses temas compõem áreas fundamentais da Física, com profundas implicações tanto para a ciência quanto para a tecnologia. Explorar especificamente a Força de Atrito é mergulhar em um fenômeno fundamental que molda nosso cotidiano, desde o simples ato de caminhar até o funcionamento de máquinas complexas. A Força de Atrito está presente em praticamente todas as interações entre superfícies em contato, seja nos pneus de um carro aderindo ao asfalto, nas engrenagens de um motor, seja até mesmo nas articulações do nosso corpo.

O ensino da Força de Atrito na Educação Básica muitas vezes limita-se à aplicação de fórmulas e à resolução de problemas abstratos, o que contribui para a manutenção de concepções alternativas e para o desinteresse dos discentes. Assim, esta dissertação busca motivar estudantes através de uma abordagem experimental e lúdica, proporcionando uma compreensão prática e interativa de uma força que, muitas vezes, é mal interpretada como meramente resistiva.

O principal objetivo desse trabalho é apresentar uma sequência didática que promove o estudo da Força de Atrito por meio de aparatos experimentais inovadores, como o plano inclinado com sistema hidráulico e o plano horizontal com um sistema de tração alimentado por uma polia e um barbante.

Além do suporte experimental e lúdico, a dissertação está fundamentada em teorias de aprendizagem que privilegiam o papel ativo do aluno. Através da investigação, busca-se não apenas esclarecer conceitos de Atrito Estático e Cinético, mas também desconstruir obstáculos epistemológicos, como a falsa percepção de que o atrito depende da área de contato das superfícies.

Esta pesquisa justifica-se pela necessidade de aprimorar o ensino de Física em escolas da rede pública estadual, onde a carência de recursos laboratoriais muitas vezes distancia o aluno da ciência experimental. Ao propor um material de fácil acesso, este produto educacional visa incentivar o protagonismo do discente, garantindo que o estudante aprenda a fazer ciência em vez de consumir o produto da ciência.

A escolha do tema Força de Atrito justifica-se pela persistência de concepções alternativas que os estudantes carregam do senso comum. Frequentemente, o atrito é visto apenas como um vilão do movimento, um agente puramente dissipativo. Esta pesquisa propõe desconstruir essa visão através do paradoxo do movimento, mostrando que, sem a aderência

proporcionada pelo atrito, a própria locomoção seria impossível.

Historicamente, a compreensão da Força de Atrito evoluiu de concepções intuitivas para leis físicas rigorosas. Enquanto Aristóteles acreditava que o movimento exigia uma força constante para superar resistências naturais, foi Leonardo da Vinci quem primeiro quantificou o atrito como uma força proporcional ao peso aplicado sobre a superfície. Posteriormente, Galileu utilizou o conceito de superfícies polidas para idealizar a inércia, abrindo caminho para que Newton formalizasse a dinâmica das forças em seus *Principia*. Por fim, as contribuições de Coulomb consolidaram o entendimento das distinções entre o Atrito Estático e o Cinético, estabelecendo as bases clássicas que fundamentam os experimentos propostos nesta sequência didática.

A dissertação, dividida em oito capítulos, representa a materialização de um esforço para contribuir no processo de ensino-aprendizagem de Física, mais precisamente Força de Atrito Estático e Cinético, na 1ª série do Ensino Médio.

No primeiro capítulo é apresentada uma introdução sobre a proposta dessa sequência didática, a contextualização do tema e a justificativa da pesquisa,

No segundo capítulo aborda-se como as teorias de aprendizagem de Vygotsky, Ausubel e Dewey sustentam a proposta da Sequência Didática e o uso da experimentação investigativa.

Em relação ao terceiro capítulo, descreve uma revisão bibliográfica de trabalhos correlatos e dissertações do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), estabelecendo um diálogo entre esta pesquisa e a produção acadêmica recente sobre o ensino de atrito.

No quarto capítulo são abordados a evolução histórica do conceito do atrito, o estudo dos tipos da Força de Atrito e o desenvolvimento físico-matemático das leis que regem as interações entre superfícies.

Em relação ao quinto capítulo, descreve os objetivos educacionais do Produto Educacional, tais como o cronograma e a descrição das etapas implementadas para realização dos objetivos dessa sequência didática.

No sexto capítulo aborda-se a metodologia da pesquisa, o detalhamento técnico do Produto educacional e a caracterização dos sujeitos da pesquisa.

Quanto ao sétimo capítulo, apresenta-se a análise dos dados obtidos da aplicação dessa sequência didática, evidenciando a evolução conceitual dos estudantes após a intervenção.

Finalmente o oitavo capítulo exhibe uma reflexão sobre a eficácia e os impactos da

aplicação do Produto Educacional.

Espera-se que a estrutura aqui delineada forneça um roteiro claro e fundamentado para a compreensão da Força de Atrito, integrando o rigor científico à leveza da experimentação lúdica. Ao percorrer cada capítulo, o leitor poderá observar a transposição didática de conceitos clássicos para uma linguagem acessível, sempre pautada pela convicção de que o ensino de Física deve ser um convite à descoberta.

2 TEORIAS DE APRENDIZAGEM PARA O ENSINO DE FÍSICA

Este capítulo discorre sobre o embasamento teórico-metodológico que fundamenta o desenvolvimento e a aplicação de uma sequência didática que facilite a compreensão do estudo do Atrito Estático e Cinético, os fatores que influenciam a Força de Atrito, a relação entre a força de atrito e o movimento de objetos em planos horizontal e inclinado.

Segundo Arons (1999, p. 31), a metodologia tradicional no ensino de Física é

apresentada como uma coleção de produtos, fórmulas e definições, focando na memorização cega sem compreensão e transformando os estudantes em ‘autômatos de moagem de equações’. Isso é visto como “destrutivo para qualquer compreensão da natureza, poder e limitações da ciência”.

Portanto, essa metodologia tradicional, passiva, e sem a participação do discente necessita de mudança paradigmática em direção à aprendizagem ativa, experimental e lúdica, propostas nessa sequência didática.

O foco deste trabalho não reside na demonstração passiva, mas, sim, na construção prática do conhecimento e na abordagem investigativa, alinhando-se às perspectivas de Vygotsky, Ausubel e John Dewey, a fim de que o processo ensino-aprendizagem utilize o diagnóstico de conhecimentos prévios como ponto de partida (Ausubel) e a experimentação como ferramenta de mediação (Vygotsky) para engajar o aluno ativamente (Dewey) na superação de concepções alternativas e na compreensão aprofundada das leis da Força de Atrito.

A grande preocupação dos professores de Física é transformar uma disciplina frequentemente vista como difícil, abstrata e desconectada do cotidiano, em um estudo envolvente e significativo. Tradicionalmente o ensino de Física baseia-se em aulas expositivas, desprovidas de interação e experimentação, o que pode tornar o aprendizado desinteressante e ineficaz.

De acordo com Ferreira e Ferreira (2021, p. 135),

o ensino da área de Física no nível médio tem mostrado deficiências, uma vez que muitos estudantes enfrentam dificuldades para aprendê-la, seja por dificuldades em Matemática, interpretação de questões apresentadas em sala de aula ou pela falta de um profissional adequado que consiga estimular a curiosidade dos estudantes em entender o porquê das coisas.

Assim, a dificuldade em muitos preceitos matemáticos, como álgebra, trigonometria e cálculo, agrava o ensino-aprendizagem de conteúdos de Física, criando

barreiras para que os discentes compreendam as aplicações de leis, princípios e teoremas que tanto se utiliza nas explicações e resoluções de problemas no estudo dessa ciência. Por assim ser, para Esteves e Silva, (2022, p. 131),

[...] modificar uma relação de ensino fortemente baseada no ensino teórico, baseado em aulas expositivas, para um modelo de ensino fundamentado em aulas experimentais é essencial. Aplicar aulas práticas não exige necessariamente sala de laboratório, nem de muitos recursos sofisticados, mas da iniciativa de aproveitar o conhecimento prévio dos alunos, conduzi-los a entender cientificamente acontecimentos diários e de o professor incluir, em seu planejamento, a realização de atividades experimentais.

Diante disso, a aplicação de atividades experimentais no ensino de Física, mesmo sem a necessidade de laboratórios sofisticados, pode favorecer um aprendizado significativo e motivador, transformando o engajamento do aluno no processo de ensino-aprendizagem.

Segundo Séré, Coelho e Nunes (2003, p. 153) “graças às atividades experimentais, o aluno é incitado a não permanecer no mundo dos conceitos e no mundo das linguagens, tendo oportunidade de relacionar esses dois mundos com o mundo empírico”. Então, as atividades experimentais bem estruturadas permitem ao discente questionar a teoria apresentada no livro didático. Se o resultado não for o esperado (erro experimental), o discente precisa analisar criticamente o processo, identificar as fontes de erro e refazer o experimento. Isso desenvolve a autonomia na busca pelo conhecimento.

Para criar um ambiente de aprendizagem de Física mais eficaz e engajador, pode-se integrar as perspectivas de teóricos da Educação, tais como Vygotsky, Ausubel e John Dewey. Cada um oferece *insights* valiosos sobre como alunos aprendem e como professores podem facilitar esse processo. A partir disso, a busca do desenvolvimento do ensino-aprendizagem, a fundamentação em teorias de aprendizagem é indispensável, pois oferece ao professor a base para ir além da simples transmissão de conteúdo.

A aprendizagem, na perspectiva construtivista e significativa, não se limita à memorização de informações, mas, sim, à internalização de conceitos que culminam na efetiva mudança da forma de pensar e de agir do aluno, impactando diretamente seu desempenho e sua compreensão da ciência.

2.1 Teoria Sociocultural de Lev Vygotsky

Lev Vygotsky (1896-1934), embora formado em Direito e Literatura pela Universidade de Moscou, se dedicou à Psicologia após a Revolução Russa (1917). Com

formação multidisciplinar, ele integrou a Filosofia Marxista, a Linguística e a Psicologia Experimental para desenvolver uma teoria socioconstrutivista, que enfatiza a importância da cultura e da interação social no desenvolvimento do pensamento, obra que revolucionou a Psicologia e a Educação.

Para Garcia (2013, p. 13), “Vygotsky estava preocupado em entender a relação entre as ideias que as pessoas desenvolvem e o que dizem ou escrevem”. Ele defendia que uma palavra só tem sentido se estiver vinculada a uma ideia, ou seja, “uma palavra que não representa uma ideia é uma coisa morta, da mesma forma que uma ideia não incorporada em palavras não passa de uma sombra” (Garcia, 2013, p. 14).

A ideia central de Vygotsky é que o desenvolvimento cognitivo de um indivíduo é inseparável de seu contexto social, histórico e cultural. O aprendizado ocorre através da interação social e do uso de instrumentos (objetos materiais que o indivíduo utiliza para agir sobre o ambiente físico) e signos (meios simbólicos que o indivíduo usa para agir sobre si mesmo (seu próprio pensamento) e sobre o comportamento dos outros).

Segundo Moreira (1995, p. 111),

Instrumentos e signos são construções sócio-históricas e culturais; através da apropriação (internalização) destas construções, via interação social, o sujeito se desenvolve cognitivamente. Quanto mais o indivíduo vai utilizando signos, tanto mais vão se modificando, fundamentalmente, as operações psicológicas das quais ele é capaz. Da mesma forma, quanto mais instrumentos ele vai aprendendo a usar, tanto mais se amplia, de modo quase ilimitado, a gama de atividades nas quais pode aplicar suas novas funções psicológicas.

Assim, os instrumentos e os signos fazem parte dos processos mentais superiores, um dos pilares da teoria vygotskiana, os quais auxiliam e transformam as operações psicológicas das quais o indivíduo é capaz. O outro pilar dessa teoria foca que os processos mentais superiores, como o pensamento abstrato, a atenção voluntária, a memória lógica e o raciocínio conceitual, têm origem em processos sociais. Esse processo de internalização e de desenvolvimento das funções mentais superiores é regido pela Lei da Dupla Formação. Para Vygotsky, todas as funções no desenvolvimento do ser humano aparecem de maneira dupla: uma no nível social (interpessoal) — entre pessoas — e, outra, no nível individual (intrapessoal), no interior do próprio sujeito. Assim, o aprendizado da Física, mediado pelo professor ou por colegas, torna-se a chave para a reestruturação cognitiva individual.

Convém lembrar que a teoria sociointerativa de Lev Vygotsky afirma que o desenvolvimento humano e a aprendizagem ocorrem primordialmente por meio da interação

social. O aprendizado é um processo social e cultural, onde o indivíduo, com a mediação de outros (como professores e colegas), desenvolve suas funções cognitivas superiores através da linguagem e da experiência em grupo. Um conceito central dessa teoria é a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), a qual representa a distância entre o que um indivíduo pode fazer sozinho e o que pode fazer com ajuda. Zanella (2001, p. 113) destaca que a interação entre o sujeito e o objeto de conhecimento é fator inerente aos estudos quando

a Zona de Desenvolvimento Proximal consiste no campo interpsicológico onde significações são socialmente produzidas e particularmente apropriadas, constituída pela linguagem e pelas relações sociais em que os sujeitos se encontram envolvidos com problemas ou situações em que há o embate, a troca de ideias, o compartilhar e confrontar pontos de vista diferenciados.

Neste contexto, Vygotsky diferencia os conhecimentos prévios, advindos da experiência cotidiana, dos conhecimentos científicos, que são adquiridos pela instrução formal e organizados em sistemas lógicos. O objetivo central da instrução é que o professor atue na ZDP para que os conhecimentos prévios do aluno sejam elevados e organizados em um sistema conceitual científico e formal. Nesse sentido, Barbosa e Batista (1984, p. 49), afirmam que

o conhecimento escolar é potencialmente promotor de zonas de desenvolvimento proximal, pois cria obstáculos de aprendizagem aos alunos individualmente, e estes, ao contar com a intervenção do professor ou de outros colegas, poderão mais tarde ultrapassá-los.

Na perspectiva de Esteves e Silva (2022, p. 3),

os laboratórios, quando usados, muitas vezes ocorrem sem haver um planejamento prévio, onde há um número excessivo de alunos e o professor não consegue fornecer um atendimento adequado, criando uma condição necessária de aprendizado pela zona de desenvolvimento proximal.

Diante disso, o planejamento cuidadoso de atividades experimentais é um pilar crucial para ativar a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) de Vygotsky. Na presente sequência didática, a utilização de instrumentos específicos, como o Plano Inclinado e o Plano Horizontal, e de signos científicos, como a linguagem vetorial que representa as forças que atuam nos corpos, foi organizada para atuar na ZDP. Esteves e Silva (2021) afirmam que, quando o laboratório de Física não é planejado, com um número excessivo de alunos e um professor sem condições de fornecer um atendimento adequado, essa zona de desenvolvimento é prejudicada, pois não há a mediação necessária para que o aprendizado ocorra de forma

efetiva. Conforme aponta Castro (2011), na teoria de Vygotsky, o desenvolvimento cognitivo ocorre por meio da interação social. Assim, a aprendizagem requer participação ativa de, no mínimo, dois sujeitos, pois a interação entre os indivíduos favorece a produção de novos conhecimentos, uma vez que a aprendizagem é mediada por instrumentos e signos.

A síntese apresentada por Castro mostra pensamento filosófico e operacional da Sequência Didática Experimental desta pesquisa. A ênfase na interação social e na troca de experiências reforça a necessidade do trabalho em grupo durante a intervenção, enquanto a mediação por instrumentos e signos valida o uso do aparato experimental do plano inclinado e horizontal (instrumentos) e da linguagem científica da Física (signos) como ferramentas intencionalmente planejadas para construir o conhecimento sobre a Força de Atrito. Desse modo, a prática pedagógica desenhada nesta dissertação visa transformar a experiência social em aprendizagem substancial e reestruturação cognitiva individual.

2.2 David Ausubel: Aprendizagem Significativa

David Ausubel, psicólogo americano, concentrou-se na importância da aprendizagem significativa, a qual ocorre quando o discente é capaz de relacionar o novo conhecimento com aquilo que já sabe, ou seja, uma nova informação se relaciona de maneira não literal com um conceito relevante e inclusivo já existente na estrutura cognitiva do indivíduo. Esses conceitos existentes são chamados de subsunçores.

Segundo Ausubel (1973 *apud* Silva; Schirlo, 2014, p. 38), a aprendizagem significativa

é o processo pelo qual um novo conhecimento se relaciona de maneira não arbitrária e não literal à estrutura cognitiva do estudante, de modo que o conhecimento prévio do educando interage, de forma significativa, com o novo conhecimento que lhe é apresentado, provocando mudanças em sua estrutura cognitiva.

A relação não arbitrária (lógica) significa que o novo material tem uma conexão explícita e racional com a estrutura cognitiva do aluno. Já a relação não literal (substantiva) refere-se ao que o aluno não apenas decora a definição do conceito que está sendo apresentado, mas sim compreende o seu significado e é capaz de expressá-lo com suas próprias palavras, integrando-o aos seus esquemas mentais.

Quando o professor conhece os subsunçores do discente, a instrução pode ser direcionada para provocar a assimilação. Na presente pesquisa, o Questionário Diagnóstico é a

ferramenta essencial para mapear essas ideias prévias. As novas informações sobre, por exemplo, as leis do Atrito se ancoram nas ideias prévias (as leis de Newton), levando, muitas vezes, à diferenciação de conceitos, como distinguir Atrito Estático de Cinético, ou à reestruturação cognitiva, superando as concepções alternativas. Para Darroz, Rosa e Ghiggi (2017, p. 21),

o que se espera do ensino de Física é que o estudante seja capaz de compreender o mundo no qual está inserido, não como um mero espectador, mas como um agente transformador. Para isso, o conhecimento científico abordado em sala de aula deve adquirir significados para o aluno, a fim de que ele possa transpor esse aprendizado para o seu cotidiano. Um dos meios para que isso aconteça é o desenvolvimento de metodologia de ensino fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa proposta por David Ausubel.

Essa perspectiva de formar um agente transformador, que transcende a mera resolução de problemas técnicos e se alinha às Diretrizes Curriculares Nacionais, sustenta a necessidade de que o ensino-aprendizagem da Física seja significativo para que o aluno possa mobilizar o conhecimento científico para compreender e intervir no próprio cotidiano. Segundo Dias (2018, p. 04),

uma condição importante para que a aprendizagem significativa ocorra é a disposição para fazê-lo. Essa disposição psicológica depende de muitas coisas. Conhecer o estilo cognitivo de cada aluno, os estilos pessoais de estudar e aprender. Ensinar e aprender com significado requer interação, aceitação ou rejeição, caminhos diversos, percepção das diferenças, busca constante de todos os envolvidos na ação de conhecer. A aprendizagem significativa segue um caminho que não é linear, mas uma trama de relações cognitivas e afetivas.

Assim, a aprendizagem significativa não é uma metodologia em que o aluno avança em passos uniformes e previsíveis. Para que o processo de ensino-aprendizagem tenha êxito, as interações dos envolvidos (professores/colegas), essenciais para a mediação vygotskiana, devem ser afetivamente positivas e de confiança mútua, garantindo que o estudante possua a disposição necessária para se engajar no processo de reestruturação cognitiva.

2.3 John Dewey: a centralidade da experiência

John Dewey, filósofo e pedagogo, apresentou no século XX uma teoria educacional com novas propostas pedagógicas que revolucionaram a educação norte-americana, cujos métodos se limitavam em técnicas de memorização e transferência de conhecimentos. Para ele, a escola deve ser um laboratório social onde o conhecimento é ativamente construído e não

passivamente recebido. O grande diferencial do pensamento de Dewey é a centralidade da experiência. Ele expande a noção de experiência para além do simples conhecimento obtido pelos sentidos, ligando-a a um método científico e investigativo.

Para Siqueira e Goi (2022, p. 4),

o termo experiência pode ser interpretado com referência à atitude empírica, seja com menção à atitude experimental. A experiência não é coisa rígida e fechada; é viva e, portanto, cresce. Quando dominada pelo passado, pelo costume, pela rotina, opõe, frequentemente, ao que é razoável, ao que é pensado. A experiência inclui, porém, ainda a reflexão, que liberta o indivíduo da influência cerceante dos sentidos, dos apetites, da tradição. Torna-se, então, capaz de acolher e assimilar tudo o que o pensamento mais exato e penetrante descobre.

Portanto, experiência deve incluir a reflexão. Ao fazerem os experimentos de atrito, os alunos não só observam o bloco deslizar (experiência empírica), mas são forçados a refletir sobre os dados coletados (ângulos, massas, superfícies) e a compará-los com suas concepções prévias (reflexão), como indica Dewey (1979 *apud* Placides; Costa, 2021, p. 135),

Dewey relata a existência de um fluxo contínuo, um processo natural que alcança na cognição sua mais sofisticada faceta. Tal cognição, que pode ter como exemplo o método científico, surge da relação prática do homem na natureza e é fruto da busca para solução de problemas. Ele dirá que o método experimental é novo como recurso científico, como meio sistematizado de adquirir conhecimentos, mas é velho como a vida, em seu caráter de artifício prático.

Esse entendimento desloca a cognição de uma perspectiva meramente abstrata para um campo profundamente vinculado à ação e à experiência concreta, indicando que o conhecimento não se constitui como algo externo à vida cotidiana, mas como resultado direto da interação ativa do sujeito com o mundo. Ainda segundo Dewey (1979 *apud* Placides; Costa, 2021, p. 135),

é nessa relação de continuidade entre experiência, pensamento e vida, tomados aqui como uma coisa só, que os seres humanos aprendem. É a partir da busca das soluções de problemas, dos mais simples aos mais complexos, que se produz o conhecimento. O ato de conhecer, para o pragmatista Dewey, tem um sentido prático, aplicável às experiências presentes e futuras.

Assim, Dewey estabelece que a continuidade, uma relação entre experiência, pensamento e vida, forma uma unidade, a qual é crucial para que os seres humanos aprendam. Como o conhecimento tem um sentido prático, aplicável às experiências presentes e futuras, reforça a visão do ensino de Física como uma ferramenta para transformar pessoas, preparando-

as para enfrentar desafios, resolver problemas reais e desenvolver pensamentos de forma crítica.

Para garantir que a experiência seja genuinamente educativa e reflexiva, Dewey (1933) sistematiza o que ele chama de método reflexivo, que espelha o próprio processo de investigação científica. As etapas desse método são: sugestão (o reconhecimento da dificuldade ou problema); intelectualização (a definição clara do problema); hipótese (a sugestão de solução); raciocínio (a elaboração e o desenvolvimento da hipótese); e teste e verificação (a ação prática para confirmar ou refutar a hipótese).

Ainda com Siqueira e Goi (2022, p. 4), tem-se:

Dewey (1916), ao descrever o método empírico, expõe a experiência como objeto inicial para um processo investigativo, em que os aspectos que constituem determinado problema devem ser experimentados. Dessa forma, o termo “experiência”, de acordo com o dicionário, está relacionado a um método científico. Enquanto do ponto de vista filosófico, a experiência está ligada a um conhecimento obtido por meio dos sentidos.

Portanto, na teoria de Dewey, a experimentação é como método de investigação, e não apenas como demonstração, garantindo que o aluno aprenda a fazer ciência em vez de apenas consumir o produto da ciência (a fórmula).

No caso desta dissertação, que objetiva desenvolver, aplicar e analisar a eficácia de um Produto Educacional: *Atrito: O Paradoxo do Movimento*, usa-se a teoria de Dewey quando o produto é aplicado com o intuito de experimentação investigativa, ou seja, o discente é guiado a seguir as etapas do método reflexivo já mencionado. Ele levanta hipóteses ao comparar, por exemplo, o cálculo do coeficiente de atrito quando se usa lixas, N° 60 ou N° 120. O discente também colhe dados ao medir ângulos no plano inclinado e, finalmente, reflete sobre as observações para corroborar ou refutar suas ideias iniciais. Isso desenvolve não apenas o conhecimento conceitual, mas também habilidades científicas.

2.4 A Ludicidade como Estratégia Pedagógica e Facilitadora da Aprendizagem

As atividades lúdicas combinam muito bem com a sala de aula, empolgam, divertem e promovem a afetividade entre os participantes. No entanto, ressalta-se, que a preparação de atividades lúdicas não é uma tarefa fácil. Se o professor não está embasado para realizar aulas lúdicas, os alunos podem achar que estão brincando ou fazendo atividades mecanicamente, sem objetivos educativos.

Apesar de não se configurar como uma teoria de aprendizagem autônoma, a

ludicidade é reconhecida como uma aliada pedagógica do processo educativo. A inclusão em sequências didáticas, especialmente no ensino de Física, visa transformar a percepção dos discentes sobre a disciplina, que frequentemente é vista como abstrata e desinteressante.

Na perspectiva da teoria socioeducativa de Vygotsky, a atividade lúdica ajuda a promover um ambiente mais descontraído e cooperativo, estimula a interação social e a afetividade entre os alunos e o professor. Esse ambiente de confiança mútua potencializa o processo de mediação pedagógica dentro da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), facilitando que o estudante se arrisque a expressar suas concepções prévias e a construir o conhecimento em conjunto.

Segundo Silva (2024, p. 22), “o lúdico contribui para o estímulo e atratividade de atividades experimentais, funcionando como estratégia complementar de aulas teóricas, sem a necessidade exclusiva de ambientes de utilização, como os laboratórios de ciências”. Nessa conformidade, a inclusão da ludicidade nas atividades experimentais (como o uso do carrinho de controle remoto no estudo do atrito) cumpre a função de estímulo e atratividade. Em um contexto de Ensino Médio, onde a Física frequentemente é vista como difícil e distante, o lúdico age como um catalisador de interesse. Conforme a filosofia de John Dewey, o interesse genuíno é o motor da experiência reflexiva. Uma atividade divertida e instigante transforma a apatia ou a resistência inicial em curiosidade, gerando a perplexidade necessária para iniciar o método de investigação.

Dessa forma, a ludicidade não é apenas uma ‘brincadeira’, mas uma estratégia intencional que atua como mecanismo de engajamento (Dewey) e afetividade (Vygotsky), culminando no desenvolvimento cognitivo. A atividade lúdica, como o paradoxo de movimento do carrinho, aciona a necessidade de Aprendizagem Significativa (Ausubel) e viabiliza a prática investigativa em diferentes contextos escolares.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE TRABALHOS CORRELATOS

Este capítulo apresenta um levantamento bibliográfico de trabalhos que dialogam com a temática desta pesquisa. A busca concentrou-se no repositório nacional do Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), no Google Acadêmico e em periódicos de relevância na área, visando identificar as estratégias metodológicas e os recursos experimentais utilizados no ensino da Força de Atrito.

Do acervo do MNPEF, que contém 1229 dissertações, foram selecionadas três: Schreiber (2021), Lima (2023) e Storch (2018). Quanto aos artigos, são dois: Monteiro, Monteiro e Gaspar (2012) e Fernandes e Auth (2015).

Embora os autores das citadas dissertações utilizem videoanálise e simulações virtuais, a presente dissertação diferencia-se por propor um aparato experimental físico de fácil acesso, compostos por um plano horizontal e inclinado com sistema hidráulico.

O objetivo principal deste levantamento é situar a presente pesquisa no panorama acadêmico atual, estabelecendo um diálogo crítico com produções recentes que enfrentam desafios didáticos semelhantes no ensino da Mecânica, mais especificamente o estudo da Força de Atrito.

Ao analisar essas obras, buscou-se identificar lacunas pedagógicas e metodológicas, bem como validar a relevância do desenvolvimento de um novo aparato experimental. Mais do que uma simples listagem de títulos, esta revisão visa demonstrar como o uso do aparato experimental composto por um plano horizontal e um inclinado, acionado por um sistema hidráulico, associado à abordagem do atrito motor, pode colaborar significativamente com o fortalecimento do ensino de Física experimental.

3.1 Análise da Dissertação de Schreiber (2021)

A dissertação de Denise Jacqueline Schreiber (2021), intitulada “Estudo da Força de Atrito com o Uso do Software Tracker”, desenvolvida no polo da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), propõe uma intervenção pedagógica para o Ensino Médio focada na superação de dificuldades conceituais sobre as Forças de Atrito por meio da tecnologia digital.

A metodologia e fundamentação teórica dessa autora são ancoradas em uma estrutura com teor potencialmente significativo, baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. O diferencial metodológico é a utilização da videoanálise com

o software gratuito *Tracker*. Os estudantes filmam experimentos simples de deslizamento de blocos e, a partir dos vídeos, o software gera dados cinemáticos, tais como posição, tempo e velocidade, que permitem calcular os coeficientes de atrito estático e cinético das superfícies de contato.

Como a intervenção aconteceu na época da Pandemia, Schreiber organizou um cronograma utilizando aulas síncronas, notebook, mesa digital, smartphone, webcam e material de aula disponível por e-mail. Basicamente a aplicação do produto educacional consiste em três aulas, cada uma com 50 minutos. Na primeira aula, a autora faz uso de organizadores prévios, revendo as três Leis de Newton e suas aplicações. Na segunda aula, o foco é para aprender a usar o software Tracker, objetivando entender o funcionamento do software Tracker, leitura e interpretação correta de tabelas, gráficos, esquemas e diagramas apresentados em textos. Finalmente na terceira aula, Schreiber aplica o produto educacional, usando os vídeos das montagens experimentais para estudar os coeficientes de Atrito Estático e Cinético.

Após os alunos assistirem ao vídeo disponibilizado no YouTube, a autora orienta que os alunos respondam três perguntas. A primeira é sobre a força de Atrito Estático; a segunda, sobre força de Atrito Cinético; e a última, uma comparação entre as duas forças.

Os resultados da pesquisa indicam que a videoanálise atua como um elemento facilitador da aprendizagem, permitindo que os alunos visualizem a Física de maneira menos abstrata, simulando que o conteúdo faz parte do cotidiano do aluno.

O trabalho de Schreiber (2021) assemelha-se a esta dissertação no que tange à base teórica, mais precisamente a Teoria de Ausubel e ao objetivo de utilizar a experimentação para promover a evolução conceitual.

Quanto à convergência das pesquisas, ambas reconhecem a ineficácia do ensino puramente tradicional para o tema do atrito e utilizam sequências didáticas estruturadas e instrumentos de sondagem para validar o ganho de conhecimento.

Enquanto Schreiber prioriza a mediação via software e ambiente virtual (videoanálise), a presente pesquisa aposta na tecnologia física e investigativa. O diferencial do uso do sistema hidráulico de seringas proposto neste trabalho resolve um problema inerente aos aparatos manuais, tais como a vibração ao elevar o plano.

Além disso, essa sequência didática expande a discussão para o atrito motor através do uso lúdico do carrinho de controle remoto, abordando um aspecto da propulsão que não é o foco central no trabalho da autora citada.

3.2 Análise da Dissertação de Lima (2023)

A dissertação de Erivaldo Douglas Santos de Lima, intitulada “Relação entre força de atrito e área de contato: uma proposta de aplicação da Aprendizagem Baseada em Problemas utilizando o software Tracker como recurso didático”, aborda especificamente a quebra do mito de que a Força de Atrito manifesta uma dependência direta em relação à área geométrica das superfícies em contato.

O autor utiliza a metodologia ativa Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), ou *Problem-Based Learning* (PBL). A sequência didática é estruturada em etapas onde os alunos são desafiados a resolver problemas reais. Assim como no trabalho anterior, Lima utiliza a videoanálise (software Tracker) para coletar dados cinemáticos de blocos com diferentes áreas de contato deslizando em um plano inclinado, visando verificar experimentalmente a independência da força de atrito em relação à área.

O trabalho de Lima também se ancora na perspectiva do Ensino por Investigação. Embora focando na construção do conhecimento através da resolução de situações-problema, o autor também dialoga com a necessidade de uma postura ativa do estudante, aproximando-se das ideias de autonomia defendidas por Dewey.

Os resultados demonstram que a utilização do software Tracker permitiu uma análise quantitativa precisa, o que foi fundamental para convencer os estudantes de que, apesar da intuição dizer o contrário, a área de contato não altera o coeficiente de atrito. A metodologia ABP favoreceu o engajamento e o debate crítico entre os alunos.

Ao comparar o trabalho de Lima (2023) com esta sequência didática, observam-se que as duas pesquisas utilizam o Ensino por Investigação como norteador e buscam desmistificar concepções alternativas enraizadas no senso comum. Há também a concordância de que o uso de ferramentas tecnológicas, sejam digitais ou mecânicas, é indispensável para a evolução conceitual do conteúdo ministrado.

Quanto à natureza do recurso didático, Lima (2023) recorre à videoanálise digital para tratar da área de contato, enquanto a presente pesquisa enfatiza a independência da área de contato no cálculo da Força de Atrito Estático por meio de um experimento, onde um bloco de madeira revestido com uma lixa N° 120 movimenta-se sobre um plano horizontal mediante um sistema de tração. Como o formato do bloco é retangular, foi possível testar duas áreas diferentes e constatou-se que a intensidade da Força de Tração é a mesma, mesmo usando áreas de contato diferentes.

Convém ressaltar que a sequência didática de Lima propõe o uso da Aprendizagem

Baseada em Problema aliada ao Software Tracker, proporcionando assim uma prática inovadora e metodologicamente ativa, evidenciando que mudanças são bem-vindas e necessárias no processo de ensino-aprendizagem na disciplina de Física.

3.3 Análise da Dissertação de Storch (2021)

A dissertação de Igor Storch, intitulada Ensino de Atrito com Abordagem de Ensino Interativo: uma proposta para ir além de propostas puramente centradas no aluno ou no professor, investiga de que forma uma postura dialógica e interativa pode potencializar a transição conceitual dos estudantes no estudo do Atrito.

O autor utiliza o Ensino Interativo, que busca o equilíbrio entre a explicação do professor e a participação ativa do aluno. A sequência didática é composta por aulas que mesclam momentos expositivos-dialogados com atividades experimentais. Storch utiliza experimentos de baixo custo, como o uso de blocos e superfícies variadas, e foca na discussão coletiva para a resolução de problemas conceituais, como o funcionamento dos freios ABS.

Quanto à fundamentação teórica, o trabalho de Storch baseia-se na teoria de Vygotsky, especificamente na importância da interação social e da linguagem como mediadoras da aprendizagem. O autor defende que o conhecimento não é apenas descoberto pelo aluno no experimento, mas construído através do diálogo mediado pelo professor na Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP).

Storch observa que a abordagem interativa aumentou significativamente o engajamento dos alunos. A análise quantitativa (pré e pós-testes) mostra que a discussão em grupo sobre os fenômenos observados nos experimentos é crucial para que os alunos abandonem concepções errôneas sobre a força de atrito em situações de frenagem e tração.

Ao analisar o trabalho de Storch (2021), em comparação com esta sequência didática, destacam-se os seguintes pontos: ambas as pesquisas utilizam Vygotsky como pilar teórico fundamental, acreditando que o experimento sozinho não ensina, mas, sim, a mediação e a interação social em torno dele. Há também um interesse comum na ludicidade e em exemplos cotidianos, como o carro e os pneus, para tornar o conteúdo relevante.

A principal distinção está na sofisticação do aparato experimental. Enquanto Storch utiliza experimentos mais tradicionais e manuais de atrito, a presente pesquisa introduz o sistema hidráulico de seringas. Esta inovação resolve um problema que muitas vezes atrapalha a interação descrita por Storch – a dificuldade de se obter um experimento com movimento constante e suave. O sistema hidráulico permite que a interação em sala de aula seja mais focada

na Física do ângulo crítico e menos na habilidade manual de quem levanta o plano. Outrossim, a inclusão de Ausubel e Dewey nesta pesquisa complementa a visão de Vygotsky de Storch, oferecendo um suporte pedagógico ainda mais robusto para a Sequência Didática Investigativa.

3.4 Análise do Artigo de Monteiro, Monteiro e Gaspar (2012)

O artigo intitulado *Abordagem experimental da força de atrito em aulas de Física do Ensino Médio*, publicado no *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, apresenta uma proposta de atividade experimental estruturada para o ensino do atrito utilizando materiais de fácil acesso.

Os autores propõem a determinação do coeficiente de Atrito Estático através de três procedimentos distintos utilizando o mesmo aparato:

- I – o método do plano inclinado (ângulo crítico);
- II – o uso de uma roldana com massas penduradas;
- III – o uso de uma balança de mola (dinamômetro).

A metodologia foca na convergência de resultados, mostrando ao aluno que diferentes métodos físicos levam ao mesmo valor de coeficiente, o que confere confiabilidade ao experimento.

O trabalho dos citados autores enfatiza a experimentação como ferramenta de contextualização. Eles defendem que a passagem do pensamento abstrato (fórmulas) para o concreto (medição) é essencial para que o aluno compreenda que a Física não é apenas um exercício matemático, mas uma ciência que descreve a realidade.

Os autores demonstram que os resultados obtidos pelos três métodos foram coerentes entre si, com baixo desvio percentual. O artigo destaca que a atividade estimulou a interação entre professor e alunos, reduzindo a resistência dos estudantes ao conteúdo de Mecânica.

Assim como Monteiro, Monteiro e Gaspar (2012), esta dissertação aposta em materiais de fácil acesso e na valorização da experimentação prática em detrimento do ensino meramente expositivo.

Com relação ao aparato experimental, os autores utilizam um plano inclinado elevado manualmente, cuja elevação ocorre de forma puramente manual, mecanismo que pode introduzir erros experimentais sistemáticos decorrentes de vibrações no instante exato da iminência do movimento, enquanto esta sequência didática, como já mencionado, introduz o sistema hidráulico de seringas.

3.5 Análise do Artigo de Fernandes e Auth (2015)

O artigo intitulado “O ensino do conceito de força de atrito por meio de atividade prática”, apresentado no Encontro Mineiro sobre Investigação na Escola, discute a importância de aproximar a Física da realidade vivenciada pelo aluno. Para isso, os autores propõem uma atividade experimental de demonstração e investigação utilizando lixas, madeiras e tecidos.

A metodologia foca na contextualização, partindo de problemas reais e utilizando a prática para validar os conceitos teóricos de Atrito Estático e Cinético. Além disso, o artigo critica o ensino baseado apenas na memorização de fórmulas e propõe que o erro no experimento seja utilizado como parte do aprendizado.

O artigo utiliza como base o pensamento de Paulo Freire, focando na educação como um processo de conscientização e diálogo, e cita as contribuições de Vygotsky e Gaspar sobre o papel das atividades experimentais de demonstração na mediação do conhecimento.

Sobre a análise dos resultados, os autores concluem que a realização das atividades práticas aumentou o interesse dos alunos pela disciplina, reduzindo o estigma de que a Física é inacessível, destacando que, quando o aluno vê a teoria aplicada em materiais que ele conhece, a aprendizagem torna-se mais significativa e duradoura.

Assim como Fernandes e Auth (2015), este trabalho fundamenta-se na necessidade de humanizar o ensino de Física através da prática e da mediação (Vygotsky). O uso de materiais simples, tais como lixas e tecido, para explicar fenômenos complexos é um ponto de união central entre os trabalhos.

A análise dos trabalhos correlatos apresentados neste capítulo evidencia um consenso na literatura recente: a urgência de metodologias ativas e experimentais para o ensino da força de atrito. Observa-se que a videoanálise e o uso de materiais de baixo custo e fácil acesso são as estratégias mais comuns. Contudo, a presente dissertação diferencia-se ao propor um aparato que une a simplicidade de materiais acessíveis à precisão de um mecanismo de ajuste controlado. Essa abordagem preenche uma lacuna metodológica entre o experimento puramente manual, muitas vezes limitado pela falta de controle rigoroso de variáveis, e o digital. Assim, a contribuição primordial desta pesquisa reside em oferecer uma alternativa viável para a realidade das escolas públicas, promovendo um avanço no rigor da coleta de dados experimentais em sala de aula sem a dependência de sensores eletrônicos ou softwares complexos.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO ESTUDO DA FORÇA DE ATRITO

Este capítulo estabelece a fundamentação teórica para a concepção e aplicação de um Produto Educacional – *Atrito, o Paradoxo do Movimento*, que trata do estudo da Força de Atrito em planos horizontal e inclinado. Para além de uma simples apresentação de conceitos, propõe-se uma jornada pela sua construção histórica. Inicia-se com as concepções aristotélicas, avança para a revolução metodológica de Galileu e faz uma pausa estratégica na figura ímpar de Leonardo Da Vinci, cujos meticulosos experimentos em seus manuscritos secretos desvendaram, de forma empírica e sistemática, as leis do atrito muito antes de sua redescoberta e formalização.

Esta base histórica serve de alicerce para a compreensão da síntese newtoniana, com sua abordagem vetorial e leis fundamentais, que permitem um tratamento unificado e aprofundado da Força de Atrito em suas diferentes manifestações. O rigor na reconstrução deste percurso epistemológico é, portanto, crucial para o diagnóstico e a intervenção pedagógica que este trabalho se propõe.

4.1 Legado de Aristóteles

Aristóteles (384-322 a.C.), um dos maiores filósofos da Antiguidade, teve um impacto profundo no desenvolvimento inicial do pensamento científico. A obra aristotélica abrange diversas áreas do conhecimento, incluindo a Física, onde ele formulou teorias que influenciaram o pensamento ocidental por quase dois milênios. Nesse contexto, nota-se que, muitas vezes, o senso comum dos estudantes coincide com a Física Aristotélica, especialmente no que diz respeito à necessidade de uma força motriz contínua para a manutenção do movimento.

Para Aristóteles, um objeto em movimento requer uma força contínua para manter-se em movimento. Ele acreditava que, quando a força cessava, o movimento também cessava, o que explicava o movimento em termos de causa e efeito imediato.

Aristóteles diferenciava o movimento natural, como a queda de objetos pesados em direção ao centro da Terra, do movimento solicitado, o qual requer uma força externa para ser suspenso. Embora não tenha identificado o atrito como uma força específica, ele reconhece que havia uma resistência ao movimento, que hoje entendemos como sendo, em parte, devido ao atrito. Para ele, essa resistência era uma força que diminuía o movimento de um objeto.

No entanto, Aristóteles não reconheceu o conceito de inércia, o qual estabelece que

um objeto em movimento permanecerá em movimento indefinidamente na ausência de forças externas, como o atrito. Este conceito foi apenas desenvolvido por Galileu e, posteriormente, formalizado por Newton na Primeira Lei do Movimento. A ideia de que o movimento poderia continuar indefinidamente sem a aplicação de uma força externa, uma vez removido o atrito, foi um dos avanços fundamentais para construção da Ciência Moderna.

Apesar das limitações das teorias aristotélicas, o legado que ele deixou foi crucial para o desenvolvimento da ciência. As ideias dele sobre movimento e forças influenciaram profundamente a filosofia natural e forneceram uma base a partir da qual a Mecânica Clássica evoluiu.

4.2 Ideias de Galileu Galilei

Galileu Galilei, muitas vezes considerado o pai da Ciência Moderna, desafiou a física aristotélica através de observações e experimentos. Ele demonstrou que a aceleração dos corpos em queda livre é independente da massa, refutando a ideia aristotélica de que objetos mais pesados caem mais rapidamente. Ele também introduziu o conceito de inércia, observando que um objeto em movimento permanece em movimento uniforme, a menos que uma força externa atue sobre ele.

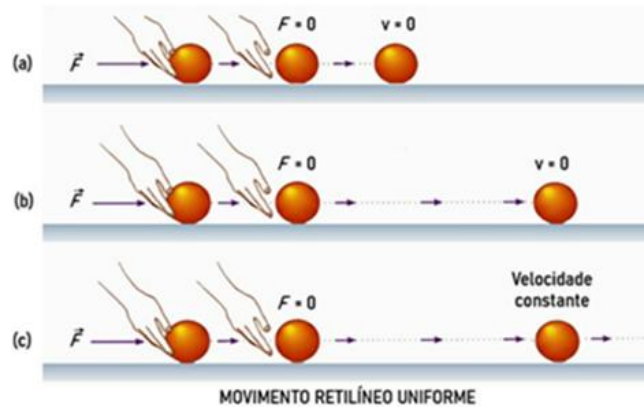
Historicamente, acreditava-se que um corpo só permaneceria em movimento se uma força atuasse constantemente sobre ele. Em uma das experiências, Galileu observou que uma esfera em repouso sobre uma superfície horizontal entrava em movimento mediante aplicação de uma força. Entretanto, a esfera continuava a se mover, percorrendo certa distância, mesmo depois que ela deixasse de ser empurrada (Figura 1a). Assim, Galileu constatou que um corpo poderia se mover sem a ação de uma força que o empurrasse.

Repetindo a experiência, usando dessa vez uma superfície horizontal mais lisa, Galileu observou que o corpo percorria uma distância maior após cessar a ação da força (Figura 1b). Com base nesse experimento, Galileu introduziu o conceito de abstração na Física ao realizar um experimento mental idealizado. Ele afirmou que, se fosse possível eliminar totalmente a ação do atrito, uma condição irrealizável na prática, mas concebível teoricamente, o corpo se moveria indefinidamente, sem variar a velocidade e, conseqüentemente, executaria um movimento retilíneo uniforme, conforme ilustra a Figura 1c.

Essas observações reforçam a importância das experiências de Galileu para a compreensão do movimento e para o avanço do pensamento científico, pois estabeleceram o conceito de inércia e romperam com o paradigma de que o movimento exigiria uma causa

imediate para persistir. Tal conclusão foi fundamental para que, décadas depois, Isaac Newton formalizasse sua Primeira Lei, consolidando o atrito não como uma ausência de força, mas como uma interação externa capaz de alterar o estado de movimento dos corpos.

Figura 1 – Galileu contestando Aristóteles



Fonte: elaborada pela autora com apoio de ferramentas de inteligência artificial (2025).

Muitos historiadores questionam se Galileu realizou de fato o famoso experimento do plano inclinado. Segundo o artigo da Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias (2008, s.p.),

a polêmica continua com os experimentos do plano inclinado. Para muitos, Galileu obteve racionalmente a relação de que a distância percorrida por um corpo é proporcional ao quadrado do tempo de queda, como descreve detalhadamente na sua famosa obra *Discursos e demonstrações matemáticas acerca de duas novas ciências* a respeito da mecânica e dos movimentos locais (1638). Se estes experimentos existiram, serviram apenas como uma comprovação. Outros acreditam que os esquemas teóricos sobre este tipo de movimento surgiram após vários experimentos com bolas e planos inclinados. Deste modo, temos duas visões sobre o cientista Galileu, uma racionalista e outra empirista.

As fontes primárias sobre os experimentos de Galileu são seus próprios escritos, principalmente na obra “*Discursos e demonstrações matemáticas acerca de duas novas ciências*” (1638), onde ele descreve o experimento do plano inclinado por meio de um diálogo entre os personagens Salviati (porta-voz de Galileu), Sagredo (o leitor inteligente) e Simplicio (o defensor de Aristóteles). Nessa obra, ele descreve o experimento, mas não afirma tê-lo realizado exatamente como descrito.

Galileu (através de Salviati) apresenta o experimento do plano inclinado como um método para “diluir” a gravidade e, assim, medir o movimento de queda com mais precisão. A

descrição é extremamente detalhada, incluindo um sulco no plano para guiar uma esfera de bronze, e o uso de um pêndulo como contador de tempo (uma “cória de água” também é mencionada para medir intervalos). No entanto, a linguagem é de uma experiência mental apoiada por demonstrações práticas, mas não de uma série de experimentos quantitativos rigorosos, como um cientista moderno faria. A Figura 2 retrata uma possível réplica do plano inclinado descrito por Galileu. Esse aparato experimental, ainda que simples em sua estrutura, representou um avanço significativo para a compreensão das leis do movimento.

Figura 2 – Réplica do plano inclinado idealizado por Galileu



Fonte: João Paulo (2023).

O grande avanço de Galileu não foi a medição perfeita, mas, sim, a compreensão de que o atrito era uma perturbação a ser ignorada e a matemática (a geometria, na época) era a linguagem para descrever as leis da natureza. Ele usou o plano inclinado como uma ferramenta conceitual para extrapolar o movimento de queda livre e, crucialmente, para deduzir que um objeto em uma superfície perfeitamente lisa se moveria perpetuamente.

Embora não tenha formulado leis quantitativas sobre o atrito, Galileu Galilei desempenhou um papel crucial, ao denominá-lo não como uma característica inerente da matéria, mas como um obstáculo externo à compreensão das leis puras da Física. A abordagem dele representou uma mudança de paradigma.

Galileu fez observações práticas sobre o atrito. Notou, por exemplo, que superfícies polidas produzem menos calor por fricção e oferecem menos resistência. Ele também comentou sobre a utilidade do atrito, como a necessidade de superfícies ásperas para que os animais possam caminhar sem escorregar. No entanto, a atenção de Galileu estava voltada para a

eliminação conceitual, não para a formulação de uma lei que o descrevesse.

A partir dessa idealização, Galileu postulou o princípio atualmente conhecido como a Lei da Inércia: um corpo em movimento, na ausência de forças resistivas (como o atrito), continuaria em movimento retilíneo uniforme indefinidamente. Essa nova compreensão redefiniu a natureza do movimento e preparou o caminho para a formalização da Mecânica por Isaac Newton. Essa nova perspectiva contribuiu para ampliar a compreensão dos fenômenos físicos e para o avanço das investigações científicas. Essa interpretação ampliou o entendimento sobre o comportamento dos corpos em movimento. Essa nova compreensão redefiniu profundamente a natureza do movimento, estabelecendo bases conceituais sólidas para a posterior sistematização da Mecânica Clássica por Isaac Newton. Ao incorporar e ampliar tais princípios, Newton consolidou matematicamente aquilo que, para Galileu, ainda se encontrava em processo de elaboração conceitual e experimental.

4.3 Vetores

No estudo da Física, a compreensão de grandezas vetoriais e vetores é essencial para análise e descrição de diversos fenômenos naturais. Enquanto algumas grandezas físicas podem ser completamente descritas por um valor numérico e uma unidade, chamadas de grandezas escalares, outras exigem a especificação de uma direção e um sentido além da magnitude. Essas são as grandezas vetoriais.

Neste capítulo, explora-se os conceitos fundamentais dos vetores, as propriedades e operações básicas, fornecendo a base teórica necessária para o entendimento de forças, incluindo a Força de Atrito.

4.4 Grandezas Escalares e Vetoriais

Grandezas escalares são aquelas que são completamente descritas por uma magnitude (valor numérico) e uma unidade de medida. Exemplos comuns de grandezas escalares incluem temperatura, massa, tempo e comprimento.

Grandezas vetoriais, por outro lado, são descritas por uma magnitude, uma direção, um sentido e uma unidade de medida. Exemplos de grandezas vetoriais incluem deslocamento, velocidade, aceleração e força. As grandezas vetoriais são representadas por vetores, que são segmentos de reta orientados.

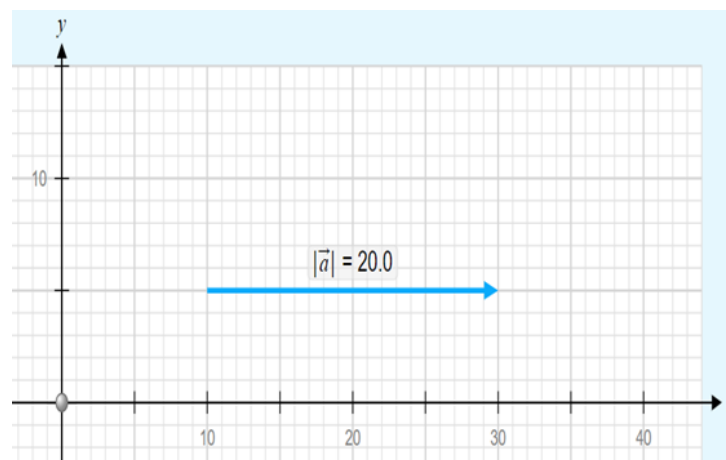
4.5 Representação de Vetores

Um vetor é representado por um segmento de reta orientado dentro de um espaço euclidiano tridimensional, caracterizado por uma magnitude, uma direção e um sentido. Para Armando A. M. de Castro (2022), do polo Taubaté

a direção pode ser entendida como a reta que suporta o vetor, ou seja, a reta que contém o segmento que representa o vetor; já sentido é entendido como para onde o vetor atuará. Por analogia, pode-se entender como direção uma grande rodovia e o sentido como sendo aquele que vai da cidade A para a cidade B, ou vice-versa. Já o módulo pode ser comparado à distância entre as cidades A e B (s.p.).

Por exemplo, se um vetor \vec{a} representa um deslocamento de 20 cm atuando para o leste, pode ser desenhado como uma seta de comprimento proporcional a 20 unidades apontando para a direita (leste), conforme ilustra a Figura 3. Essa forma de representação contribui para uma compreensão mais intuitiva dos conceitos apresentados.

Figura 3 – Representação do vetor \vec{a}



Fonte: Elaborada pela autora usando a simulação Phet: https://phet.colorado.edu/sims/html/vector-addition/latest/vector-addition_all.html?locale=pt_BR (2025).

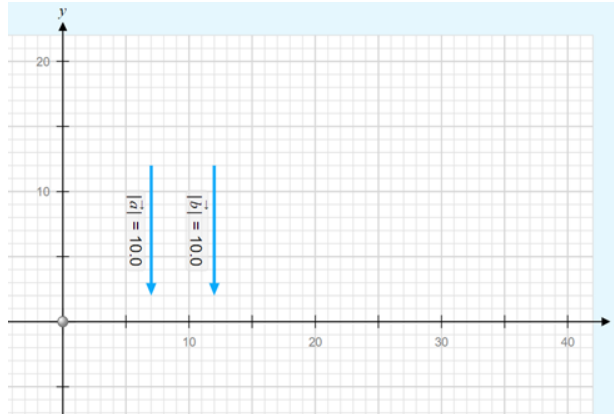
4.6 Propriedades dos Vetores

I – Igualdade de Vetores

Dois vetores são iguais se tiverem a mesma magnitude, direção e o mesmo sentido, independentemente da posição no espaço. Na Figura 4 estão representados dois vetores, \vec{a} e \vec{b} ,

de mesma direção e sentido, no sistema cartesiano.

Figura 4 – Vetores iguais

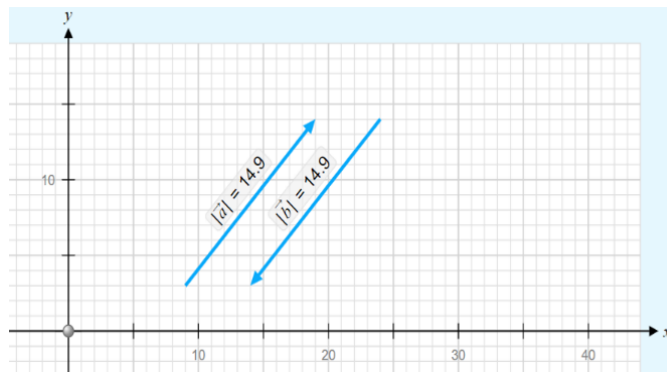


Fonte: Elaborada pela autora por meio do uso da simulação Phet: https://phet.colorado.edu/sims/html/vector-addition/latest/vector-addition_all.html?locale=pt_BR (2025).

II – Vetores Opostos

Dois vetores são opostos se tiverem as mesmas magnitudes e direção, mas sentidos opostos, conforme ilustra a Figura 5.

Figura 5 – Vetores opostos



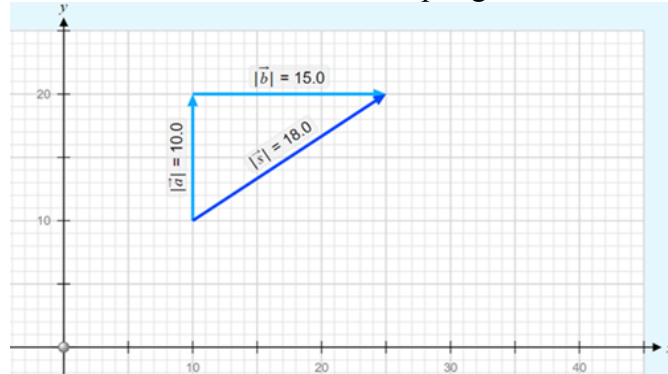
Fonte: Elaborada pela autora usando a simulação Phet: https://phet.colorado.edu/sims/html/vector-addition/latest/vector-addition_all.html?locale=pt_BR (2025).

4.7 Adição de Vetores

Para Raul Tipler (1933), a adição de vetores é encontrada por um método geométrico (regra do polígono) que leva em conta as magnitudes e as orientações das quantidades. Dois

vetores podem ser somados graficamente desenhando-os com a origem da segunda seta (\vec{b}) na ponta da primeira seta (\vec{a}). A seta que representa o vetor resultante é desenhada da origem do primeiro vetor para a ponta do segundo vetor. A Figura 6 ilustra o método descrito por Tipler.

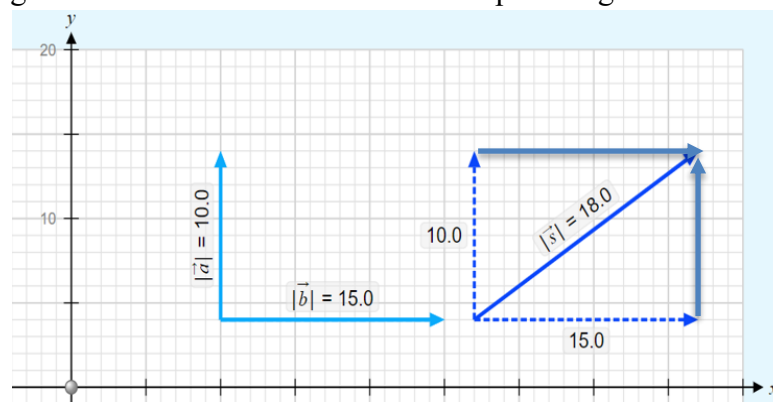
Figura 6 – Soma de vetores: método polígono



Fonte: Elaborada pela autora usando a simulação Phet:
https://phet.colorado.edu/sims/html/vector-addition/latest/vector-addition_all.html?locale=pt_BR (2025).

Segundo Tipler (1933), um método equivalente de somar vetores, chamado de método do paralelogramo, requer que se desenhe o vetor \vec{b} com origem coincidindo com a origem do vetor \vec{a} (Figura 7). Uma diagonal do paralelogramo formado por \vec{a} e \vec{b} forma a resultante \vec{s} . Vale aqui ressaltar que não faz diferença a ordem em que se soma os vetores, isto é, $\vec{a} + \vec{b} = \vec{b} + \vec{a}$. Assim, a soma vetorial obedece à lei comutativa. Dessa forma, o método do paralelogramo permite uma visualização clara da soma de vetores, evidenciando que o resultado independe da ordem em que os vetores são somados, o que contribui para uma compreensão mais consistente desse conceito no estudo da Física.

Figura 7 – Soma de vetores: método do paralelogramo



Fonte: Elaborada pela autora usando a simulação Phet:
https://phet.colorado.edu/sims/html/vector-addition/latest/vector-addition_all.html?locale=pt_BR

4.8 Decomposição de Vetores

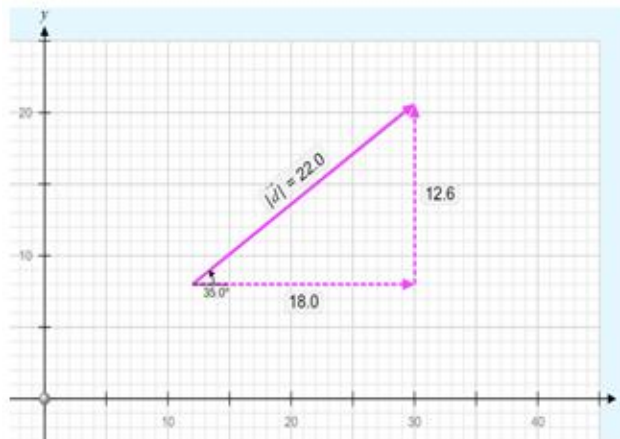
Um vetor é uma grandeza que possui magnitude (ou módulo) e direção, e é frequentemente utilizado para representar quantidades físicas, como deslocamento, força e velocidade. Em um espaço bidimensional ou tridimensional, um vetor pode ser decomposto em suas componentes ao longo dos eixos coordenados, o que facilita a análise matemática e física de problemas.

Seja \vec{d} um vetor qualquer. Adotando-se o ponto O como a origem de \vec{d} , chamam-se componentes de \vec{d} segundo os eixos Ox e Oy as projeções d_x e d_y sobre esses eixos (Figura 8). Para calcular as componentes em três dimensões, é necessário conhecer os ângulos que o vetor forma com cada um dos eixos, mas o processo é análogo ao do plano bidimensional, utilizando funções trigonométricas apropriadas para cada direção.

A magnitude de d (ou módulo de d) é dada por:

$$|d| = \sqrt{d_x^2 + d_y^2} \quad (1)$$

Figura 8 – Componentes do vetor \vec{d}



Fonte: Elaborada pela autora usando a simulação Phet:
https://phet.colorado.edu/sims/html/vector-addition/latest/vector-addition_all.html?locale=pt_BR (2026).

A decomposição de vetores em suas componentes é uma ferramenta essencial na Física e na Engenharia, pois permite que problemas complexos sejam divididos em partes mais simples, as quais podem ser analisadas separadamente. Essa técnica é particularmente útil na resolução de problemas envolvendo múltiplos vetores, como em sistemas de forças, onde a

soma vetorial das componentes fornece uma compreensão clara das forças resultantes em cada direção. Assim, ao trabalhar com as componentes dos vetores, torna-se possível compreender de forma mais clara o comportamento das grandezas físicas em cada direção, contribuindo para uma análise mais sistemática das situações estudadas.

4.9 Leis de Newton

As três leis formuladas por Sir Isaac Newton no século XVII constituem a base da Mecânica Clássica, descrevendo a relação entre a força resultante aplicada a objetos e seus respectivos movimentos – ficaram conhecidas como “as três Leis de Newton”. Qualquer objeto que acelera está sob ação de forças, as quais podem ser associadas a um empurrão, puxão, elevação ou deformação de objetos. Em termos mais específicos, a força pode acelerar ou retardar um objeto, modificar a trajetória ou causar alterações no formato do objeto.

4.9.1 Primeira Lei de Newton

Na visão de Frederick J. Keller (1999), a Primeira Lei de Newton (Lei da Inércia) enuncia que, se um corpo está em estado de repouso ou de movimento uniforme segundo uma reta, então a aceleração é nula. Além disso, segundo o autor, essa lei não é válida para qualquer referencial. Para que a aceleração de um objeto ou partícula seja zero, é necessário definir que o referencial adotado seja inercial. Keller deixa claro: o uso da 1ª lei já está vinculado a um sistema inercial, ou seja, um sistema em relação ao qual a aceleração é nula para qualquer objeto com $\Sigma F = 0$.

4.9.2 Segunda Lei de Newton

A Segunda Lei de Newton (Lei Fundamental da Dinâmica) quantifica a relação entre força resultante, massa e aceleração, permitindo o cálculo preciso de como um objeto se moverá sob a ação de forças específicas. Com frequência, mais de uma força atua sobre objetos em movimento, assim a combinação dessas forças é chamada de força resultante. Essa lei faz a previsão do comportamento dinâmico dos objetos, essencial para a Engenharia e outras ciências aplicadas.

Por Frederick J. Keller (1999, p. 81), a Segunda Lei de Newton é enunciada como: “A variação do movimento é proporcional à força motriz imprimida e atua na direção da reta

segundo a qual a força é dirigida”. O termo “movimento” se refere à grandeza Momento de um objeto de massa m e velocidade v simbolizado por p , ou seja:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \quad (2)$$

Já a expressão “força motriz” se referia à força resultante ΣF . Se a constante de proporcionalidade entre a “força motriz” e a “variação do movimento” é 1, temos:

$$\Sigma F = \frac{dp}{dt} \quad (3)$$

Considerando que a massa do objeto é independente do tempo t e substituindo a equação 1 em 2, teremos:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} = m \frac{dv}{dt} = m \cdot a \quad (4)$$

Portanto, a Segunda Lei de Newton é dada por:

$$\Sigma F = m \cdot a \quad (5)$$

Se duas ou mais forças individuais atuam simultaneamente sobre um corpo, o resultado é como se uma única força, denominada força resultante, atuasse sobre o objeto, representada por ΣF conforme mostra a Equação 4.

4.9.3 Terceira Lei Newton

A Terceira Lei de Newton (Lei da Ação e Reação) estabelece que, para cada ação, há sempre uma reação igual e oposta. Esta lei destaca que as forças sempre ocorrem em pares. Quando um corpo exerce uma força sobre outro, o segundo corpo exerce uma força de igual magnitude e direção oposta sobre o primeiro. Ela é fundamental para entender a interação entre corpos e é aplicada em diversos contextos, como na propulsão de foguetes e no funcionamento de motores.

4.10 Força de Atrito

A força de atrito está presente quando duas superfícies entram em contato e tentam se mover uma em relação à outra. As principais causas desse tipo de força estão relacionadas com a rugosidade das superfícies, as Forças de Adesão Molecular, a deformação dos materiais e a contaminação superficial.

A rugosidade da superfície aumenta o atrito porque as irregularidades de uma

superfície interagem com as da outra, o que requer mais força para se mover. Em geral, quanto mais rugosas as superfícies, maior o atrito, mas a relação não é sempre direta, pois uma rugosidade excessiva pode causar danos, enquanto uma suavidade excessiva pode impedir a retenção de lubrificantes.

As Forças de Van der Waals influenciam a Força de Atrito porque são forças intermoleculares atrativas que mantêm as moléculas unidas, dificultando a separação e, conseqüentemente, aumentando a força necessária para mover uma superfície sobre a outra.

Sobre a deformação dos materiais, quando uma força é aplicada, as superfícies podem sofrer pequenas deformações. A energia necessária para deformar os materiais contribui para a resistência ao movimento.

A Força de Atrito também é afetada pela presença de substâncias (contaminação superficial), como óleo, poeira ou outras partículas entre as superfícies em contato, podendo aumentar ou diminuir a intensidade dessa força.

Apesar de o estudo do atrito deslizante ou atrito seco, que ocorre quando um corpo sólido desliza sobre outro, ficar mais situado na dinâmica macroscópica, convém ressaltar que a força de atrito, conforme dito anteriormente, tem origem intrinsecamente complexa, a qual reside nas interações em nível atômico entre as superfícies em contato.

Segundo Feynman (1999, p. 104), acrescenta-se: “Temos muitos pontos de contato nos quais os átomos parecem grudar uns nos outros, e então, quando o corpo deslizante é empurrado, os átomos rompem-se uns dos outros e ocorre uma vibração”. Por isso o estudo do atrito não é simplesmente regido por uma lei empírica, introduzida por Coulomb e aprimorada por outros, ela estabelece uma relação de proporcionalidade simples entre a Força de Atrito (F_{at}) e a Força Normal (N): $F_{at} \approx \mu \cdot N$ onde, μ é o coeficiente de atrito, que se supõe ser uma constante característica do par de materiais em contato. Contudo, essa lei, embora útil e amplamente aplicada na prática docente do Ensino Médio, é uma aproximação semiempírica com limitações críticas que devem ser reconhecidas.

É oportuno mencionar também que somente a explicação clássica, segundo a qual o atrito se deve apenas às irregularidades das superfícies de corpos em contato, é imprecisa. A verdadeira perda de energia, razão pela qual a força de atrito “consome” trabalho, reside na deformação das irregularidades superficiais, gerando calor e movimentos atômicos vibracionais em ambos os corpos, representando uma conversão de energia mecânica em térmica.

Contrariando a simplicidade com que esse estudo é tratado, o coeficiente de atrito é sensível a variações no grau de irregularidade, dureza, presença de óxidos, pó ou outros contaminantes. Assim, se se limpasse e polisse duas superfícies que deslizam entre si, por

exemplo, um objeto de cobre deslizando em uma superfície de cobre, retirando os gases das substâncias em um vácuo, não se conseguiria determinar com precisão o valor do coeficiente de atrito μ . Feynman (2008) argumenta que

a razão para este comportamento inesperado é que quando os átomos em contato são todos do mesmo tipo, não existe maneira dos átomos “saberem” que eles estão em pedaços diferentes de cobre. Quando outros átomos estão presentes nos óxidos, e gorduras e finas superfícies mais complexas de contaminantes estão entre eles, os átomos “sabem” quando eles não estão no mesmo pedaço.

Portanto, como são forças intermoleculares que mantêm os átomos unidos, desgrudar superfícies compostas pelas mesmas substâncias puras para se determinar o coeficiente de atrito por meio de experimentos é uma tarefa que não oferece exatidão. Assim, na visão de Feynman, a perspectiva microscópica revela que o atrito é o resultado de interações eletromagnéticas complexas e condições superficiais dinâmicas, conseqüentemente o coeficiente de atrito não é uma constante absoluta. Portanto, são aceitáveis pequenas divergências entre os valores teóricos tabelados e os resultados obtidos em atividades práticas. Essas variações, quando dentro de uma margem esperada, não invalidam a experiência, mas reforçam a importância da análise crítica e da compreensão dos procedimentos adotados.

4.11 Leonardo da Vinci e as Fundações Empíricas do Estudo do Atrito: uma ponte histórica para o Ensino de Física

No estudo das forças dissipativas, particularmente do atrito, os nomes de Guillaume Amontons (1699) e Charles-Augustin de Coulomb (1785) são os que tradicionalmente figuram nos livros didáticos do Ensino Médio. No entanto, uma investigação mais aprofundada na história da ciência revela que, cerca de duzentos anos antes das consolidações desses estudiosos, o renascentista Leonardo Da Vinci (1452-1519) já havia conduzido uma investigação sistemática e empírica sobre o fenômeno, estabelecendo conclusões que anteciparam as leis que hoje levam o nome de outros. O caráter inédito e privado dos cadernos de anotações de Leonardo Da Vinci fez com que as descobertas dele não influenciassem o desenvolvimento contemporâneo da ciência, mas o trabalho de Da Vinci permanece como um testemunho notável do poder da observação e da experimentação metódica.

Longe de ser apenas especulação teórica, o método de Leonardo Da Vinci era profundamente prático. Ele concebeu e executou experimentos quantitativos, utilizando um aparato engenhoso: um bloco de material (como madeira) era colocado sobre um plano, preso

a um fio que passava por uma roldana. Na outra extremidade do fio, ele pendurava um recipiente, o qual era gradualmente preenchido com areia ou outro material, até que o bloco começasse a se mover. A força necessária para vencer o atrito era medida pelo peso do recipiente e seu conteúdo. Através dessa montagem, Leonardo Da Vinci variou parâmetros de forma controlada, investigando a influência do peso do objeto, da área de contato e da natureza das superfícies.

Essas observações, conduzidas de maneira sistemática e cuidadosa, evidenciam o caráter experimental de suas investigações e reforçam a dimensão prática de seu método, no qual a experiência direta e o controle das condições eram fundamentais para a compreensão dos fenômenos estudados. Nesse contexto, a experiência direta não era concebida como um simples contato sensível com a realidade, mas como um procedimento orientado por hipóteses e por um esforço deliberado de mensuração e comparação. Esse modo de proceder revela uma mudança profunda na forma de produzir conhecimento científico: o fenômeno observado passa a ser analisado sob condições controladas, buscando-se reduzir interferências e isolar variáveis relevantes.

4.12 As Quatro Leis do Atrito de Leonardo da Vinci

A partir dos próprios experimentos, Da Vinci sintetizou evidências não apenas com base no olhar atento aos fenômenos naturais, mas também na capacidade de transformar a experiência prática em formulações de caráter teórico, que podem ser traduzidas para a linguagem científica como quatro leis fundamentais:

A) Lei da Proporcionalidade entre Atrito e Carga (Força Normal)

Leonardo Da Vinci estabeleceu que a força de atrito é diretamente proporcional à carga (peso) aplicada sobre a superfície. Nos escritos, ele notou que “o atrito produz uma resistência que é dupla para um peso duplo”. Esta é uma clara antecipação da relação fundamental que a Força de Atrito é proporcional à intensidade da Força Normal ($F_{\text{atrito}} \propto N$), que seria posteriormente redescoberta por Amontons.

B) Lei da Independência da Área de Contato

Este talvez seja um de seus *insights* mais contraintuitivos. Leonardo Da Vinci testou arrastar o mesmo bloco, com o mesmo peso, apoiado sobre faces de áreas diferentes. Para surpresa dele e espanto, observou que a força de atrito necessária era essencialmente a mesma. Ele concluiu corretamente que a força de atrito é independente da área aparente de contato. Esta observação sugere que ele intuía a natureza microscópica do atrito, resultante do encaixe das irregularidades (asperezas) das superfícies, e não de uma simples pressão distribuída.

C) Lei da Dependência da Natureza dos Materiais (coeficiente de atrito)

Ao testar diferentes pares de materiais, como madeira sobre madeira, metal sobre metal ou madeira sobre corda, Leonardo Da Vinci registrou que a força de atrito variava significativamente. Ele percebeu que a “aspereza” ou “suavidade” dos materiais era um fator determinante. Em termos modernos, ele havia descoberto o conceito de coeficiente de atrito (μ), que é uma propriedade do par de materiais em contato. Essas observações o permitiram compreender que o atrito não era um fenômeno aleatório, mas dependente das características dos materiais em contato, antecipando uma formulação sistemática desse comportamento físico.

D) Distinção entre Atrito Estático e Cinético

Embora não tenha cunhado os termos, Leonardo Da Vinci fez uma distinção operacional entre os dois. Ele observou que era necessária uma força inicial maior para colocar o corpo em movimento do que a força requerida para o manter em movimento a uma velocidade constante. Nos experimentos, o “puxão” inicial (que vence o atrito estático máximo) era maior do que a força de sustentação do movimento (que vence o atrito cinético).

No entanto, como suas anotações não circularam, Da Vinci não influenciou diretamente o estudo do atrito. As leis empíricas sobre o atrito de deslizamento, válidas para o escopo do Ensino Médio e aceitas ainda hoje, foram oficialmente enunciadas muito depois, em 1699, pelo francês Guillaume Amontons. Posteriormente, em 1781, esses conceitos foram confirmados e complementados por Charles-Augustin de Coulomb em seu célebre estudo sobre máquinas simples, estabelecendo as bases definitivas para a diferenciação entre os regimes de Atrito Estático e Cinético.

Coulomb foi o responsável por estabelecer uma distinção clara entre os dois principais tipos de atrito de deslizamento:

I Atrito Estático (Fat_e): ocorre quando não há movimento relativo entre as superfícies em contato.

II Atrito Cinético (Fat_c): surge quando há movimento relativo entre as superfícies.

Coulomb postulou que a Força de Atrito Cinético é sempre menor do que a Força de Atrito Estático Máximo e, uma vez iniciado o movimento, a força de atrito cinético permaneceria aproximadamente constante.

4.13 Cálculo do Coeficiente de Atrito Estático em um Plano Horizontal

O estudo da Força de Atrito Estático (Fat_e) é fundamental na análise da Dinâmica, pois define a condição necessária para que um corpo permaneça em repouso, apesar da aplicação de uma força externa. Em um plano horizontal, a determinação dessa força envolve a análise das condições de equilíbrio. Nesse contexto, considera-se o conjunto de forças que atuam sobre o corpo, avaliando-se como elas se relacionam para manter a situação de repouso. A análise dessas condições permite compreender o papel do atrito estático na manutenção do equilíbrio, evidenciando sua importância na descrição do comportamento dos corpos sob a ação de forças externas. O estudo da Força de Atrito Estático é essencial na Dinâmica, pois determina a condição para que um corpo permaneça em repouso mesmo sob a ação de uma força externa. Em um plano horizontal, a análise envolve o estudo das forças atuantes e das condições de equilíbrio, permitindo compreender de forma mais precisa as interações entre as superfícies em contato, bem como os fatores que influenciam a intensidade dessa força, como a natureza dos materiais e a força normal exercida.

I Definição e Caráter Variável

A Força de Atrito Estático é uma força de contato que se manifesta entre duas superfícies em repouso relativo e, nesse exemplo, se opõe à tendência de movimento. A característica mais distintiva é ser uma força autoajustável:

- Se uma força horizontal F aplicada é exercida sobre o corpo e ele permanece em repouso, a Força de Atrito Estático terá exatamente a mesma magnitude, mas sentido oposto, garantindo o equilíbrio ($\Sigma F = 0$).
- Matematicamente, enquanto o corpo está em repouso: $0 \leq Fat_e \leq Fat_{e\ Max}$.

II O Ponto de Movimento Iminente e o Cálculo do Valor Máximo

O cálculo rigoroso da Força de Atrito Estático foca em seu valor máximo ($Fat_{e\ Max}$). Esse valor representa o limiar de transição entre o estado de repouso e o início do movimento (movimento iminente). A magnitude da Força de Atrito Estático Máximo é definida pela relação empírica proposta pelas leis de Amontons e Coulomb: é diretamente proporcional à Força Normal que a superfície exerce sobre o corpo.

$$Fat_M = \mu_e \cdot N \quad (6)$$

Onde:

- Fat_M é a Força de Atrito Estático Máximo, medida em Newtons (N).
- μ_e é o coeficiente de atrito estático, uma grandeza adimensional que depende exclusivamente da natureza e do estado de rugosidade das superfícies em contato.
- N é a Força Normal, medida em Newtons (N).

Dessa forma, a compreensão dessa relação não apenas esclarece o comportamento físico do sistema em análise, mas também possibilita aplicações práticas no dimensionamento de estruturas, na engenharia de materiais e na análise de estabilidade de corpos sujeitos a forças externas.

III A Determinação da Força Normal (N) no Plano Horizontal

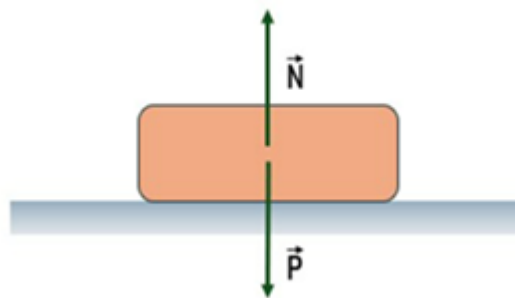
Para a compreensão do equilíbrio de um corpo, é necessário a construção de um diagrama de forças, onde todas as interações entre o objeto e a superfície são representadas por vetores.

A Figura 09 ilustra essa configuração clássica, evidenciando a oposição vetorial entre a força gravitacional e a força de reação normal em um sistema estático. Nesta

configuração, como não há movimento ou aceleração na direção vertical, a soma das forças que atuam no eixo y deve ser nula, de acordo com a Primeira Lei de Newton.

Portanto, a intensidade da Força Normal N torna-se numericamente igual à intensidade do peso P do bloco. Compreender essa igualdade é o primeiro passo para que o discente consiga, posteriormente, calcular o coeficiente de atrito, visto que a força de atrito é diretamente proporcional a essa força de compressão exercida pela superfície sobre o corpo

Figura 9 – Representação das forças que atuam em um corpo



Fonte: Elaborada pela autora com apoio de ferramentas de inteligência artificial (2025).

No caso de um corpo apoiado sobre um plano horizontal, a análise das forças na direção vertical (eixo y) é simplificada. Assumindo que nenhuma outra força vertical além do Peso e da Normal esteja atuando, temos:

- O corpo está em equilíbrio vertical (não está acelerando para cima ou para baixo), portanto, a Força Resultante na direção y é nula: $\Sigma F_y = 0$
- As forças verticais são o Peso (P), atuando para baixo, e a Força Normal (N), atuando para cima.

Portanto, a magnitude da Força Normal (N) é igual à magnitude do Peso (P): $N = P$. Como a força Peso é dada por $P = m \cdot g$ (massa vezes a aceleração da gravidade), temos: $N = m \cdot g$.

Substituindo a expressão da Força Normal na fórmula do Atrito Estático Máximo, obtém-se a expressão para o cálculo da força limite no plano horizontal:

$$F_{at_{e\ max}} = \mu_e(m \cdot g) \quad (7)$$

4.14 Cálculo do Coeficiente de Atrito Cinético no Plano Horizontal com velocidade constante

Com base na Primeira e na Segunda Lei de Newton, um corpo (bloco) que se desloca com movimento retilíneo uniforme sobre uma superfície qualquer possui aceleração nula. Consequentemente, a soma vetorial das forças que nele atuam é igual a zero, estabelecendo assim, uma condição de equilíbrio dinâmico. Nessas condições, as forças aplicadas ao bloco se compensam mutuamente, de modo que nenhuma delas produz variação no seu estado de movimento. Essa situação caracteriza um regime em que, embora o corpo esteja em deslocamento, não há alteração em sua velocidade, evidenciando a aplicação direta das leis de Newton na descrição do equilíbrio das forças atuantes. Considerando o arranjo da Figura 10, as forças que atuam no corpo são:

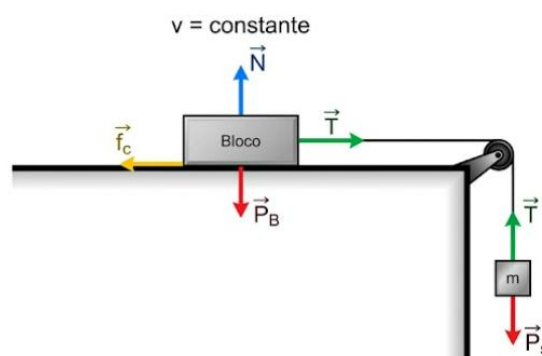
No Bloco sobre a mesa:

- N : Força Normal (perpendicular à superfície).
- P : Peso do bloco.
- T : (Tração): Força exercida pelo fio.
- f_c : Força de atrito cinético.
- M : Massa do bloco.

No Corpo Suspenso:

- T (Tração): Força para cima exercida pelo fio (mesma intensidade da tração no bloco).
- P_s (Peso do Suporte/Massa): Força gravitacional sobre a massa suspensa.
- M : Massa do corpo suspenso.

Figura 10 – Forças que atuam no bloco no plano horizontal



Fonte: Elaborada pela autora com apoio de ferramentas de inteligência artificial (2025).

Como o corpo se move com velocidade constante, a aceleração é nula ($a = 0$). Isso

implica que: a intensidade da força de tração é igual à força de Atrito Cinético:

$$T = f_c \quad (8)$$

A tração também é igual ao peso da massa suspensa:

$$T = P_s \quad (9)$$

Portanto, a força de Atrito Cinético é igual ao peso da massa suspensa:

$$f_c = P_s \quad (10)$$

A partir da definição $f_c = \mu N$ e sabendo que $N = P_B$, obtém-se a fórmula final para o cálculo experimental:

$$\mu_c = \frac{P_B}{P_s} \quad (11)$$

$$\mu_c = \frac{M}{m} \quad (12)$$

Então, para ambos os coeficientes (estático e cinético), o cálculo se baseia na igualdade entre a Força de Atrito e a Força Aplicada (T), sendo essa igualdade derivada da condição física de aceleração nula. A diferença reside no estado do sistema: repouso (iminência de movimento) para μ_e e movimento uniforme μ_c .

4.15 Cálculo do Coeficiente de Atrito Estático e Cinético no Plano Inclinado para Corpos em equilíbrio

No plano inclinado, o coeficiente de atrito estático e cinético é calculado usando a declividade do plano. Para demonstrar que a relação $\mu_e = \tan \theta$ é válida nessa situação, é preciso analisar as forças que agem em um bloco no momento exato em que ele está prestes a deslizar no plano inclinado. Esse é o ponto de equilíbrio estático em que a força de atrito atinge o valor máximo. Sobre o bloco no plano inclinado, há três forças principais atuando:

- Força Peso (P): atua verticalmente para baixo, em direção ao centro da Terra.
- Força Normal (N): atua perpendicularmente à superfície do plano, para cima.

Ela é a reação do plano à força que o bloco exerce sobre ele.

- Força de Atrito Estático Máxima (f): atua paralelamente ao plano inclinado, na direção oposta ao movimento iminente. Ela impede que o bloco deslize.

Para analisar as forças em relação ao plano inclinado, é útil decompor a força peso (P) em duas componentes. Uma dessas componentes atua paralelamente ao plano inclinado, sendo responsável por puxar o bloco para baixo ao longo da superfície. A outra atua perpendicularmente ao plano, contribuindo para a determinação da força normal exercida pela

superfície sobre o bloco.

A Figura 11 mostra o detalhamento de todas as forças que atuam no bloco.

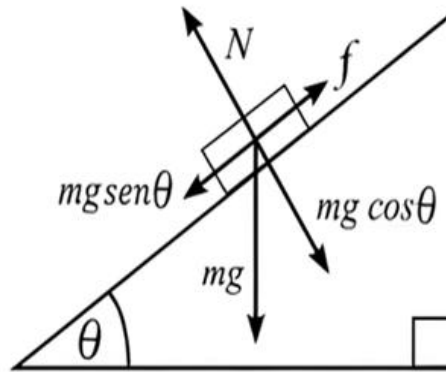
- Componente Perpendicular ao Plano (P_y): esta componente é a força que o bloco exerce sobre o plano. Ela é dada por:

$$P_y = P \cos \theta \quad (13)$$

- Componente Paralela ao Plano (P_x): esta componente é a força que tenta mover o bloco para baixo ao longo do plano. Ela é dada por:

$$P_x = P \sen \theta \quad (14)$$

Figura 11 – Forças que atuam no bloco no plano inclinado



Fonte: Elaborada pela autora com apoio de ferramentas de inteligência artificial (2025).

Quando o bloco está prestes a deslizar, ele ainda está em repouso. Isso significa que a aceleração é zero e a soma das intensidades das forças em cada direção é nula.

- Na direção perpendicular ao plano: o bloco não se move para cima nem para baixo, então a força normal (N) e a componente perpendicular do peso (P_y) se equilibram:

$$N = P_y = \cos \theta \quad (15)$$

- Na direção paralela ao plano: o bloco está na iminência de deslizar, então a componente paralela do peso (P_x) é exatamente equilibrada pela força máxima de atrito estático ($F_{ate_{Max}}$).

$$P_x = f \quad (16)$$

$$P \sen \theta = f \quad (17)$$

A força de atrito estático máxima (f) é calculada usando a fórmula: $f = \mu_e N$, onde

μ_e é o coeficiente de atrito estático. Substituindo a força Normal N pela expressão que se encontra na análise do equilíbrio perpendicular, tem-se:

$$N = P \cos \theta \quad (18)$$

$$P \sen \theta = (P \cos \theta) \quad (19)$$

Dividindo-se a equação 13 por P (Peso) nos 2 lados da equação, obtém-se:

$$\mu_e = \tan \theta \quad (20)$$

Como já mencionado, para o caso em que o corpo (bloco) se movimenta com velocidade constante, a aceleração é nula e, assim, F_R (força resultante) sobre o corpo é nula. Então, a expressão para o cálculo do coeficiente de atrito cinético é a mesma do coeficiente de atrito estático. Portanto, tem-se:

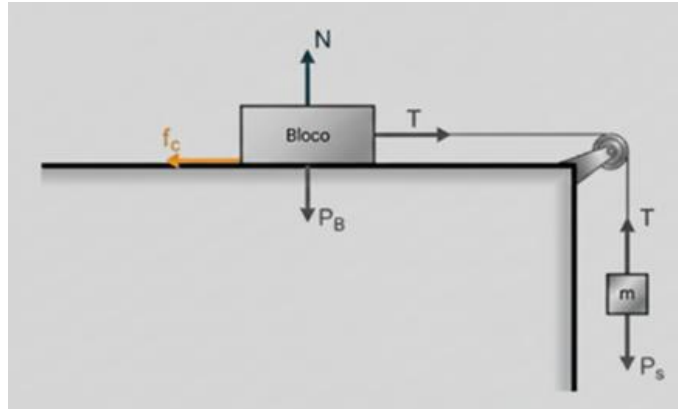
$$\mu_c = \tan \theta \quad (21)$$

É importante ressaltar, contudo, que embora o modelo matemático de equilíbrio seja análogo para ambos os casos, a inclinação do plano no caso de movimento uniforme é menor do que a inclinação quando o corpo está parado na iminência de movimento e, portanto, o coeficiente de atrito cinético é menor do que o coeficiente de atrito estático.

4.16 Cálculo do Coeficiente de Atrito Cinético em Condição de Aceleração Constante

Para determinar o coeficiente de atrito cinético sob a condição de que um bloco se desloca sobre uma superfície plana com aceleração constante, o cenário exige a aplicação da Segunda Lei de Newton, ou seja, $\overrightarrow{FR} = m \cdot \vec{a}$. Diferente do regime estático, no qual a resultante das forças é nula, o movimento acelerado implica que a intensidade da Força de Tração (T) supera a intensidade da Força de Atrito cinético (F_{atc}).

Na Figura 12 estão representadas todas as forças que atuam sobre o bloco com aceleração constante (\vec{a}).



Fonte: Elaborada pela autora com apoio de ferramentas de inteligência artificial (2025).

Aplicando-se a condição de equilíbrio para o eixo vertical, temos:

Para o Bloco M (Plano vertical), onde $a = 0$

$$N - M g = 0 \quad (22)$$

$$N = M g \quad (23)$$

No eixo horizontal x , o bloco se desloca para direita e o corpo suspenso desce.

Assim, no sentido do movimento, tem-se:

$$T - f_c = M \cdot a \quad (24)$$

$$T - \mu_c \cdot N = M \cdot a \quad (25)$$

• Para a corpo suspenso (eixo vertical):

Considerando o sentido descendente como positivo:

$$P_m - T = m \cdot a \quad (26)$$

$$m \cdot g - T = m \cdot a \quad (27)$$

Somando as equações (24) e (25), tem-se:

$$(T - \mu_c \cdot M g) + (m g - T) = M a + m a \quad (28)$$

Isolando o termo que contém o coeficiente de atrito:

$$\mu_c M g = m g - (M + m) a \quad (29)$$

Portanto, a expressão geral para o coeficiente de atrito cinético em função da aceleração medida é:

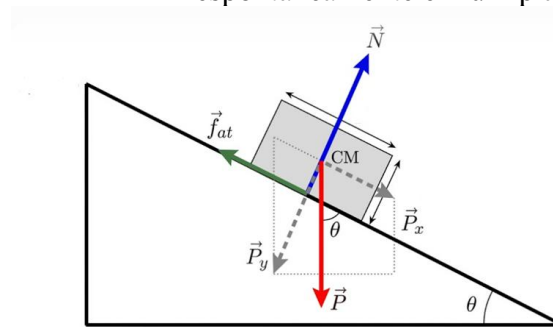
$$\mu_c = \frac{m g - (M + m) a}{M \cdot g} \quad (30)$$

4.17 Cálculo do Coeficiente de Atrito Cinético em um Plano Inclinado sob Movimento Espontâneo

Para compreender a dinâmica do movimento e a atuação das forças dissipativas em superfícies não horizontais, faz-se necessária a análise de um corpo sob a influência da gravidade em uma rampa.

Ao abandonar um bloco de massa M sobre um plano inclinado que estabelece um ângulo θ com a horizontal, o sistema passa a ser regido por uma aceleração constante a , rampa abaixo. Esse deslocamento espontâneo decorre do desequilíbrio entre as forças atuantes, em que a componente tangencial do peso supera a força de oposição gerada pelo contato entre as superfícies. O diagrama de corpo livre e a distribuição vetorial dessas interações mecânicas estão representados a seguir, conforme ilustra a Figura 13.

Figura 13 – forças que atuam no bloco se deslocando espontaneamente em um plano inclinado



Fonte: Elaborada pela autora com apoio de ferramentas de inteligência artificial (2025).

- Componente Perpendicular ao Plano (P_y): componente do peso do bloco que pressiona o plano.
- Componente Paralela ao Plano (P_x): componente do peso que tenta mover o bloco para baixo ao longo do plano.
- Normal (N): força de reação da superfície, perpendicular ao plano.
- Força de Atrito Cinético (f_c): atua no sentido oposto ao deslizamento (para cima do plano).
- Peso (P): peso do corpo com direção vertical (perpendicular à superfície da Terra), sentido para baixo, apontando para o centro do planeta.

Para facilitar a análise, adota-se um sistema de eixos onde o eixo x é paralelo ao plano (apontando para baixo) e o eixo y é perpendicular ao plano. Aplicando a Segunda Lei de Newton em cada eixo, obtém-se: No eixo y , a aceleração é nula:

$$N - P_y = 0 \quad (31)$$

$$N = M \cdot g \cdot \cos \theta \quad (32)$$

No eixo x, o corpo desce com aceleração constante e diferente de zero

$$P_x - f_c = M \cdot a \quad (33)$$

$$M \cdot g \cdot \sin \theta - f_c = M \cdot a \quad (34)$$

Sabe-se que

$$f_c = \mu_c \cdot N = \mu_c \cdot M \cdot g \cdot \cos \theta \quad (35)$$

Agora, substitui-se a equação (35) na equação (34):

$$M \cdot g \cdot \sin \theta - \mu_c \cdot M \cdot g \cdot \cos \theta = M \cdot a \quad (36)$$

Pode-se simplificar a equação dividindo todos os termos pela massa M , o que demonstra que a aceleração de descida independe da massa do corpo.

$$g \cdot \sin \theta - \mu_c \cdot g \cdot \cos \theta = a \quad (37)$$

Isolando o coeficiente de atrito cinético (μ_c), tem-se:

$$\mu_c \cdot g \cdot \cos \theta = g \cdot \sin \theta - a \quad (38)$$

Ou, de forma simplificada, obtém-se:

$$\mu_c = \tan \theta - \frac{a}{g \cdot \cos \theta} \quad (39)$$

4.18 Considerações sobre o Atrito de Rolamento com ou sem Deslizamento

O estudo da força de atrito de rolamento sem deslizamento é fundamental para compreender a dinâmica dos corpos que rolam, como uma esfera ou cilindro, sobre uma superfície sem que haja escorregamento relativo no ponto de contato. Mesmo presente em muitas situações cotidianas, a maioria dos livros do ensino médio e superior não aborda esse tipo de atrito.

Buscando a fundamentação teórica sobre o atrito de rolamento sem deslizamento, pode-se citar o trabalho de Jesus e Sasaki (2014, p. 3503-2):

os livros e professores destacam que o módulo da força de atrito estático máximo, em geral, é superior ao de atrito cinético, citando como exemplo a seguinte situação do cotidiano: quando empurramos um carro, é mais difícil tirá-lo do repouso do que mantê-lo em movimento. Contudo, tal explicação é contraditória quando aplicada ao caso do rolamento sem deslizamento, pois embora o veículo esteja em movimento, como as suas rodas giram sem deslizar, atua o atrito estático de rolamento em vez do cinético.

Sendo assim, o trecho destacado do artigo traz uma reflexão pedagógica e técnica

bem instigante, pois retrata uma confusão conceitual muito comum no ensino de Física, quando se utiliza o exemplo do empurrão de um carro para focar que o atrito estático máximo é maior que o cinético. Nesse exemplo, como as rodas giram sem deslizar, o contato entre o pneu e o chão continua sendo regido pelo atrito estático, e não pelo cinético. A própria velocidade do ponto de contato com o chão sendo nula em relação à superfície já garante que esse tipo de atrito seja classificado como estático.

Então, é necessário mostrar aos alunos que um corpo pode estar em movimento de translação, por exemplo, um carrinho se deslocando sobre uma superfície qualquer, enquanto o ponto de contato entre as superfícies e a roda está em repouso relativo, demonstrando, assim, que o atrito estático também é compatível com movimento de translação de um sistema.

Diante dessa contradição apresentada pelo artigo, é oportuno entender que o atrito estático tem funções diferentes: impedir o início do movimento de um corpo em repouso e permitir o movimento de um corpo em rolamento, garantindo que a roda gire de forma solidária ao deslocamento do centro de massa.

Vale aqui acrescentar que a dinâmica de corpos circulares também é regida pelo atrito de rolamento com deslizamento, conhecido como rolamento não puro. Como o próprio nome sugere, esse tipo de atrito ocorre quando há escorregamento relativo entre a superfície do objeto que rola e o solo. É o que se observa, por exemplo, no instante inicial em que um cilindro é lançado manualmente com grande velocidade de translação, mas baixa rotação. A velocidade do centro de massa não coincide com a velocidade tangencial de rotação e o atrito é cinético, age no sentido de reduzir a translação e aumentar a rotação até que ambas se sincronizem.

Com relação ao atrito de rolamento sem deslizamento, dito puro, existe uma sincronia perfeita entre translação e rotação, definida pela equação $v = \omega \cdot R$, onde v representa a velocidade linear do corpo que rola, ω a velocidade angular e R representa o raio do corpo que executa o movimento circular. Uma característica fundamental do rolamento puro é que o atrito estático não realiza trabalho, pois não há deslocamento do ponto de aplicação da força enquanto ela atua.

Conforme abordado por Jesus e Sasaki (2014), um corpo lançado tende a passar por uma fase inicial de rolamento com deslizamento até que, por ação do atrito cinético, atinja a condição de rolamento puro. A partir deste momento, a diminuição da velocidade passa a ser governada não mais pelo deslizamento, mas pela resistência ao rolamento decorrente de deformações macroscópicas.

5 ESTRUTURA DO PRODUTO EDUCACIONAL

No cenário dos Mestrados Profissionais, o produto educacional é um guia criado para resolver problemas reais do processo ensino-aprendizagem que busca intervir diretamente na realidade da sala de aula. Segundo Rizzatti *et al.* (2020) um produto educacional deve apresentar características de inovação, aplicabilidade e potencial de replicação, servindo como uma ferramenta mediadora que auxilia o docente na transposição didática de conceitos complexos.

Para Moreira (2000, p. 45), um produto educacional deve promover uma aprendizagem mais significativa. O material educativo contido no produto educacional deve nortear um novo olhar para o processo de ensino-aprendizagem, ou seja, “um organizador prévio ou um recurso que facilite a ancoragem de novos conhecimentos na estrutura cognitiva do estudante”. Nesse sentido, a elaboração de recursos pedagógicos precisa considerar não apenas a transmissão de conteúdos, mas principalmente a forma como esses conteúdos dialogam com os conhecimentos prévios dos alunos.

5.1 O Produto Educacional – Atrito: O Paradoxo do Movimento

Este produto educacional foi desenvolvido para proporcionar metodologias alternativas ao ensino tradicional, facilitando, assim, a compreensão de fenômenos abstratos por meio de um aparato experimental e uma demonstração lúdica. O intuito não é simplesmente realizar experimentos, colher dados ou fazer cálculos, mas, sim, dialogar com o estudante, estimulando a autonomia, o pensamento crítico, formular perguntas, criar hipóteses e testá-las.

O título, Atrito – O Paradoxo do Movimento surgiu da necessidade de explicar e confrontar a concepção espontânea dos estudantes de que o atrito é sempre uma força associada à resistência e ao impedimento do movimento, ou seja, um empecilho que atrapalha o movimento e causa perda de energia. Para o senso comum, se o atrito pudesse ser eliminado, o movimento seria mais fácil.

Conforme aponta Pacca (1988), o atrito é um dos conceitos nos quais as teorias implícitas dos alunos são mais resilientes. Os estudantes, inclusive os graduados, tendem a associar o atrito exclusivamente como uma força oposta ao movimento ou como algo que consome o movimento. Sendo assim, essa visão impede a compreensão de que o atrito também pode agir como uma força impulsionadora. Ao denominá-lo como um paradoxo, esse produto propõe uma mudança de perspectiva: o atrito deixa de ser apenas o agente que dissipa energia

para ser compreendido como o agente essencial que possibilita a propulsão e a caminhada, integrando a visão microscópica das superfícies com a dinâmica do movimento.

A composição desse produto educacional está organizada em quatro etapas, conforme mostra o Quadro 1, onde cada parte tem um objetivo específico.

Com intuito de potencializar a interação dos discentes, a troca de saberes e até mesmo facilitar a execução das tarefas do Roteiro de Demonstrações, recomenda-se a organização dos estudantes em equipes. Essa estratégia também permite que o pensamento crítico e a formulação de hipóteses ocorram de forma colaborativa. Quando se trabalha em grupo, os alunos são incentivados a verbalizar suas concepções prévias e a confrontá-las com as observações experimentais dos colegas, o que enriquece o processo de aprendizagem significativa e favorece a superação do paradoxo proposto pelo próprio nome desse produto educacional. Quando se trabalha em grupo, os alunos são incentivados a verbalizar suas concepções prévias, muitas vezes fundamentadas no senso comum, e a confrontá-las com as evidências experimentais produzidas pelos próprios colegas.

Quadro 1 – Composição do Produto Educacional

Etapa I – Questionário 01	Avaliação diagnóstica dos conhecimentos prévios e percepções sobre o estudo da Força de Atrito.
Etapa II – Roteiro de Demonstrações	Roteiro que orienta os alunos e o professor durante as atividades práticas, estruturado para instigar o levantamento de hipóteses.
Etapa III – Questionário 02	Avaliação diagnóstica que permite monitorar a evolução dos discentes.
Etapa IV – Questionário 03	Avaliação do Produto Educacional.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

5.2 Cronograma de Aplicação do Produto Educacional

O objetivo do cronograma é auxiliar o docente no planejamento e na execução das atividades que compõem o Produto Educacional: Atrito, O Paradoxo do Movimento. O Quadro 2 apresenta uma sugestão da quantidade de aulas necessárias para que as tarefas sejam realizadas com tempo suficiente para a preparação dos discentes. Vale acrescentar que a duração de cada etapa tem caráter flexível, pois o docente tem autonomia para ajustar o engajamento da turma e as dúvidas que vão surgir durante aplicação desse produto. Sabendo-

se que uma aula dura 50 minutos, o tempo estimado para executar cada tarefa é calculado pelo número de aulas, já que essa linguagem é mais familiar na comunidade escolar.

Quadro 2 – Cronograma do Produto Educacional

Etapa	Atividade	Metodologia	Tempo estimado
I	Aplicação do Questionário 01	Cada discente responde seu questionário de acordo com os conhecimentos prévios	01 Aula = 50 min
II	Aplicação dos Experimentos 1 e 2	Manipulação do aparato. A turma é dividida em equipes	02 Aulas = 100 min
II	Aplicação dos Experimentos 3 e 4	Manipulação do aparato. A turma é dividida em equipes	02 Aulas = 100 min
II	Demonstração lúdica	Atividade com o carrinho de controle remoto	01 Aula = 50 min
III	Aplicação do Questionário 02 (pós-experimentos)	Cada discente responde seu questionário	01 Aula = 50 min
III	Discussão sobre os experimentos e questionários	Roda de conversa	02 Aulas = 100 min
IV	Aplicação do Questionário 03 (avaliação do produto)	Cada discente responde seu questionário	01 Aula = 50 min

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

5.3 Etapa I – Sondagem de Concepções Prévias

Nesta etapa inicial, o estudante responde um questionário composto de dez questões de múltipla escolha, conforme a perspectiva de Vygotsky, para coletar informações sobre conhecimentos prévios e as percepções em relação à força de atrito, tão presente em diversas situações do nosso dia a dia.

A aplicação dessa avaliação diagnóstica – Questionário 01– não se limita a uma mera formalidade avaliativa. Ela parte da premissa de que “o conhecimento prévio é a variável isolada que mais influencia a aprendizagem significativa” (Moreira, 2011, p. 16). No caso, como apontam Albanese, Neves e Vicentini (1998), essa etapa é crucial porque as concepções dos estudantes, especificamente sobre a força de atrito, são profundamente enraizadas em experiências sensoriais cotidianas, baseadas em fenômenos do movimento da vida real, os quais são fontes importantes para as interpretações dos alunos.

Ainda segundo os autores mencionados, a avaliação de conhecimentos prévios permite mapear as teorias implícitas dos alunos, possibilitando que as demonstrações investigativas posteriores atuem diretamente sobre essas concepções, promovendo o conflito cognitivo necessário para a reestruturação do saber científico.

Para facilitar o acesso e a aplicabilidade desse produto por outros docentes, o questionário 01 pode ser acessado através do QR Code abaixo (Figura 14). A versão impressa completa, com todas as alternativas, também está disponível para consulta no Apêndice A. O Quadro 3 ilustra as questões dessa avaliação.

Figura 14 – QR Code do Questionário diagnóstico



Fonte: QR Code Generator (2025).

Quadro 3 – Questionário 01

continua

Questão	Enunciado	Distratores
01	Quando um objeto desliza sobre uma superfície, qual a principal causa da força de atrito?	A) A gravidade puxando o objeto para baixo. B) A resistência do ar contra o movimento. C) As irregularidades entre as superfícies em contato. D) A força aplicada para iniciar o movimento.
02	Em qual das situações abaixo a força de atrito é útil e necessária?	A) Patinar no gelo com velocidade constante. B) Deslizar em um tobogã. C) Acender um fósforo. D) Empurrar um móvel pesado.
03	O que acontece com a intensidade da força de atrito quando aumentamos a força que pressiona um objeto contra uma superfície?	A) Diminui. B) Permanece igual. C) Aumenta. D) Depende do tipo de material.
04	Qual a diferença entre atrito estático e atrito cinético?	A) Atrito estático ocorre quando o objeto está em movimento e cinético quando está em repouso. B) Atrito estático é sempre maior que o atrito cinético. C) Atrito cinético é sempre maior que o atrito estático. D) Não há diferença entre eles.
05	Uma caixa está em repouso sobre uma superfície horizontal. Qual força impede que	A) Força peso. B) Força normal.

	ela se mova caso alguém tente empurrá-la?	C) Força de atrito estático. D) Força de atrito cinético.
06	Quando um carro freia bruscamente, o que causa a diminuição da velocidade?	A) A força do motor. B) A força de atrito entre os pneus e o asfalto. C) A inércia do carro. D) A força da gravidade.
07	Em qual superfície é mais fácil empurrar um objeto pesado?	A) Asfalto rugoso. B) Carpete. C) Gelo. D) Concreto seco.
08	O coeficiente de atrito depende:	A) da área de contato entre as superfícies. B) da velocidade do objeto. C) do material das superfícies em contato. D) da força aplicada sobre o objeto.
09	Um livro está em repouso sobre uma mesa inclinada. Qual força impede que ele deslize para baixo?	A) A força peso. B) A força normal. C) A força de atrito estático. D) A força de atrito cinético.
10	Qual a consequência da ausência de atrito entre os nossos pés e o chão ao caminharmos?	A) Conseguiríamos andar com mais facilidade. B) Seria impossível andar. C) Andaríamos mais rápido. D) Andaríamos mais devagar.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

O objetivo da aplicação desse questionário diagnóstico é principalmente investigar se os estudantes associam o atrito às irregularidades das superfícies, conforme retrata a Questão 01, avaliar se o atrito é compreendido como uma força necessária para realizar tarefas cotidianas importantes, como acender um fósforo ou caminhar, ou apenas como uma resistência indesejada (Questão 02).

Com base na formulação das Questões 04 e 05, o discente deve ser capaz de diferenciar os conceitos de atrito estático e cinético e relacioná-los aos estados de repouso ou movimento. Portanto, a aplicação desse questionário é de suma importância para verificar as ideias do senso comum dos discentes, as quais são o ponto de partida para qualquer estratégia que vise à mudança conceptual no ensino de Física.

5.4 Etapa II – O Aparato Experimental e a Investigação Prática

Nesta etapa, conforme sugerido na seção 5.2, a sala de aula é dividida em equipes para que os estudantes executem as orientações que constam no Roteiro de Demonstrações, um aparato experimental de fácil acesso e abordagem investigativa. Assim, os estudantes são

levados a sair da passividade e atuarem como investigadores, podendo confrontar concepções prévias com dados empíricos observados durante os experimentos.

A seguir, apresenta-se um panorama das atividades que compõem o roteiro experimental cuja versão completa, destinada ao aplicador, encontra-se no Produto Educacional (Apêndice D). Para facilitar o acesso e a aplicabilidade deste produto por outros docentes, o Roteiro de Demonstrações também pode ser acessado através do QR Code abaixo (Figura 15).

Figura 15 – QR Code do Roteiro de Demonstrações



Fonte: QR Code Generator (2026).

5.4.1 Experimento 1 – Determinação do Coeficiente de Atrito Estático e Cinético no Plano Horizontal

Este experimento inicial é composto por um plano horizontal e um bloco de madeira onde as faces são revestidas com lixa de N° 60 e de N° 120. O objetivo é demonstrar qualitativamente como a natureza das superfícies influencia na força que se opõe ao movimento, ou seja, a Força de Atrito. Os discentes são incentivados a observar que, quanto menor a granulação da superfície, maiores e mais espaçados são os grãos, oferecendo, assim, maior resistência ao deslocamento e conseqüentemente maior é a intensidade da força necessária para iniciar o deslizamento.

As Figuras 16 e 17 ilustram o plano horizontal e duas faces do bloco 01 revestido com as lixas N° 60 e N° 120. A utilização de materiais com texturas distintas visa promover a mediação entre o conhecimento cotidiano e o científico. Ao solicitar que os discentes comparem o esforço necessário para movimentar o bloco em cada face, o experimento busca desmistificar a ideia de que o atrito depende apenas do peso do objeto, evidenciando o papel crucial da interação entre os materiais.

Figura 16 – Plano horizontal 01



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Figura 17 – Bloco



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Neste aparato, cada equipe monta o experimento, conforme mostra a Figura 18, com a face do bloco revestida com lixa N°60 voltada para o plano horizontal. Com o aparato montado, a equipe escolhe um representante para inserir arruelas no gancho até que o bloco fique na iminência de se movimentar. Feito isso, o grupo anota a massa total de arruelas + gancho, e calcula o coeficiente de atrito estático (μ_e), usando a equação demonstrada no Roteiro de Demonstrações, considerando que, na iminência do movimento, a Força de Atrito iguala-se ao peso suspenso.

Durante o procedimento, recomenda-se que as equipes repitam a medição mais de uma vez, a fim de comparar resultados e reduzir possíveis erros experimentais. Essa repetição favorece uma análise mais confiável dos dados e estimula a discussão coletiva sobre eventuais diferenças encontradas. A ênfase na repetição das medidas e na discussão das discrepâncias visa humanizar o processo científico no ambiente de sala de aula. Ao notar que o número de arruelas pode variar levemente entre uma tentativa e outra, o discente é instigado a investigar causas externas, o que transforma o erro em um elemento pedagógico de reflexão. Ao final, os valores obtidos podem ser compartilhados entre os grupos, possibilitando a comparação entre resultados e a reflexão sobre fatores que podem ter influenciado as medições, como pequenas variações na superfície ou na distribuição de massa.

Essa dinâmica de compartilhamento de dados e investigação das variáveis externas consolida o caráter investigativo da atividade, integrando o erro como parte indissociável da construção do conhecimento científico.

Desse modo, a atividade não se limita ao cálculo numérico do coeficiente de atrito estático, mas promove a vivência concreta do conceito, fortalecendo a relação entre teoria e prática e estimulando a análise crítica dos procedimentos experimentais adotados.

Figura 18 – Experimento 01: Atrito estático



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Usando o mesmo aparato, um representante da equipe deve agora acrescentar sutilmente arruelas de menor massa até que o bloco se movimente com velocidade praticamente constante, como mostra a Figura 19. Neste procedimento o aluno é orientado a dar pequenos empurrões no bloco para vencer o atrito estático. Com esse novo valor, a equipe determina o valor do coeficiente de atrito cinético usando a equação que também está no mesmo roteiro.

Figura 19 – Experimento 01: Atrito Cinético



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Posteriormente, usando o mesmo bloco, cada equipe refaz os mesmos procedimentos descritos anteriormente, mas invertendo a posição do bloco para a face que está revestida com a lixa de N° 120. Cada equipe realiza as medições descritas anteriormente, tanto para calcular o coeficiente de estático como o cinético e anota os resultados para futuras comparações.

Sendo assim, por meio dessas atividades experimentais implementadas, os discentes devem investigar o porquê de o valor do coeficiente de atrito cinético ser um pouco menor que o estático.

Vale acrescentar que essa divergência, entre os valores dos coeficientes de atrito estático e cinético, ocorre porque no estado estático as irregularidades microscópicas das superfícies estão bem encaixadas, exigindo uma força maior para romper essas interações iniciais. Já na situação de movimento, o tempo de contato entre as imperfeições diminui, dificultando a formação de novos intertravamentos, o que resulta em uma resistência menor ao deslizamento.

Assim, a análise comparativa entre as lixas N° 60 e N° 120 permite que o aluno visualize como o material da superfície influi na intensidade das forças dissipativas.

Ressalta-se que os dados experimentais obtidos para calcular os coeficientes de atrito das faces revestidas com lixas são passíveis de oscilação. Para o cálculo do coeficiente estático, o aparato parte da premissa de que o bloco deve ficar prestes a se movimentar. Já para o cálculo do coeficiente cinético, o bloco deve se mover com velocidade constante, o que é uma tarefa que requer atenção e persistência.

Uma análise técnica detalhada sobre as fontes de erro e as incertezas inerentes a essas medições será apresentada no Capítulo 7.

5.4.2 Experimento 2 – Influência da Força Normal no Coeficiente de Atrito

O objetivo do segundo experimento é que cada equipe observe e investigue se o aumento da Força Normal altera o valor do coeficiente de atrito estático calculado com o bloco 1, revestido com a lixa de N° 60.

Colocando-se o bloco 3 em cima do bloco 1, conforme mostram as Figuras 20 e 21, um representante da equipe insere arruelas no gancho até que os dois blocos juntos fiquem na iminência de movimento. Os alunos devem observar que, ao aumentar a quantidade de arruelas no gancho, a intensidade da Força Normal também aumenta. Posteriormente, cada equipe anota

a massa total das arruelas + gancho e calcula o valor do coeficiente de atrito estático.

Ao comparar com o valor obtido no experimento 01, a investigação desmistifica a ideia de que o atrito depende apenas da rugosidade dos materiais, mostrando que a força de compressão é um fator determinante para a intensidade da Força de Atrito desenvolvida entre as superfícies em contato, mas o coeficiente de atrito do material fica o mesmo.

Figura 20 – Aumento da Força Normal



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Figura 21 – Teste do aumento da Força



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

5.4.3 Experimento 3 – Determinação do Coeficiente de Atrito Estático e Cinético no Plano Inclinado

O objetivo do terceiro experimento é determinar experimentalmente os coeficientes de atrito estático e cinético usando um bloco de madeira, revestido com quatro materiais diferentes (tecido, EVA, lixa para ferro e papel), em um plano inclinado.

Através da variação angular, medida no transferidor que foi acoplado ao plano, os discentes constatam que cada face envolvida por um material diferente tem um ângulo crítico correspondente para que o bloco fique na iminência de movimento.

Apesar de o bloco estar revestido com quatro faces, como mencionado, foram usadas as faces revestidas de tecido e EVA para não deixar o experimento muito demorado. Essa escolha metodológica buscou equilibrar a qualidade da investigação com o tempo disponível para a atividade, permitindo que os alunos realizassem as medições, os cálculos e as comparações necessárias sem comprometer o andamento da aula. O aparato usado na experiência está representado na Figura 22.

Figura 22 – Aparato do Experimento 03

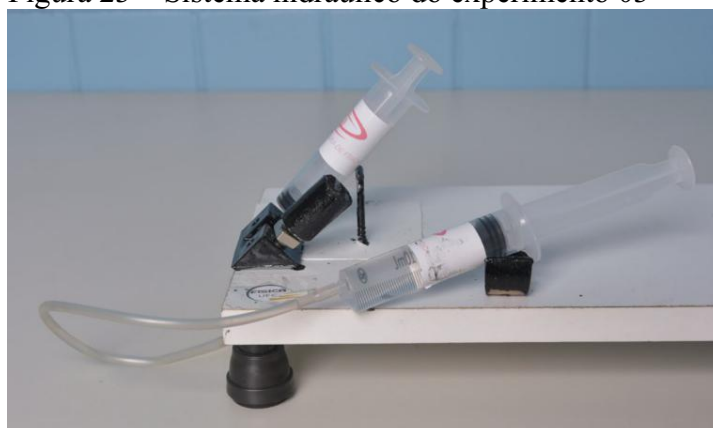


Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Inicialmente a face revestida de tecido é colocada voltada para o plano inclinado e, por meio de sistema hidráulico acionado por uma seringa contendo água, um(a) aluno(a) empurra o êmbolo até que o bloco no plano inclinado fique prestes a se movimentar.

Depois a equipe mede o ângulo no transferidor e, usando a equação (21) que consta no Roteiro de Demonstrações, é possível determinar o coeficiente de atrito, já que a tangente do ângulo medido é igual numericamente ao valor do coeficiente de atrito estático do tecido. A Figura 23 mostra o sistema hidráulico utilizado para variar a inclinação do plano.

Figura 23 – Sistema hidráulico do experimento 03



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Em seguida, ainda com a face de tecido em contato com o plano inclinado, aumenta-se lentamente a inclinação do plano, até que o bloco se movimente praticamente com velocidade constante. Para provocar o deslocamento, um estudante pode dar pequenos empurrões no bloco

para vencer a força de atrito estático. Novamente, com auxílio da Trigonometria, pode-se determinar o coeficiente de atrito cinético do material.

A segunda parte desse experimento é feita com a face de EVA voltada para o plano inclinado com a mesma sequência descrita para a face revestida de tecido. Como a face revestida de EVA oferece mais resistência ao movimento que a face revestida de tecido, o aparato contém um dispositivo reserva, que aumenta a inclinação do plano. As Figuras 24 e 25 ilustram o aparato experimental descrito nesse item.

Convém que o estudante responsável pela manipulação do aparato faça de maneira bem lenta para não causar danos e resultados fora do esperado.

Figura 24 – Compressão da seringa



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Figura 25 – Inclinação do plano inclinado



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

O sistema hidráulico, composto por duas seringas e uma mangueira, foi projetado para facilitar o manuseio do plano inclinado com suavidade e controle do movimento. Assim, o discente que está operando o aparato percebe com mais precisão o momento exato para medir o ângulo correspondente à iminência do movimento do bloco de madeira. O controle hidráulico atua como um facilitador da percepção sensorial, tornando o processo de medição mais intuitivo e reduzindo a incerteza experimental, o que é essencial para a validação das leis do atrito no Plano Inclinado.

O dispositivo reserva de inclinação só deve ser usado se a inclinação impulsionada pela compressão do êmbolo com água não for suficiente para causar a iminência do movimento do bloco.

Desse modo, o conjunto formado pelo sistema hidráulico e pelo dispositivo reserva assegura maior controle, precisão e segurança na execução do experimento, contribuindo para resultados mais consistentes e para uma compreensão mais refinada do fenômeno investigado. A Figura 26 ilustra o procedimento adequado para a retirada do cilindro da base de

armazenamento.

Figura 26 – Dispositivo reserva do aumento da inclinação



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

5.4.4 Experimento 4 – Influência da Área de Contato no Coeficiente de Atrito

O quarto experimento se propõe a investigar se a área da face do bloco que está em contato com o plano horizontal influi no cálculo do coeficiente de atrito estático da lixa N° 120 que reveste o bloco 4.

Para fazer esse experimento, um representante da equipe coloca o bloco de madeira em duas posições diferentes: uma face com a área maior voltada para o plano horizontal e, depois, ele inverte a posição do bloco, ficando, dessa vez, a face que tem menor área em contato com o plano.

O procedimento é feito da seguinte maneira: colocam-se arruelas no gancho que faz parte do sistema de tração até que o bloco fique na iminência de movimentar. Primeiramente o procedimento é realizado com a face A (maior área) e, depois, com a face B (menor área). Por meio da quantidade de arruelas utilizada para deixar o bloco prestes a se mover, os discentes anotam a massa das arruelas + gancho e, usando a fórmula que consta no Roteiro de Demonstrações, comparam os valores obtidos dos coeficientes de atrito da lixa N° 120, que revestiu as duas faces.

As Figuras 27 e 28 mostram as duas maneiras de colocar o bloco 4, permitindo visualizar claramente as diferentes configurações adotadas no experimento. Essa comparação contribui para os estudantes compreenderem que a área não afeta o cálculo do coeficiente de atrito estático do material em questão costuma gerar um conflito cognitivo importante, pois a

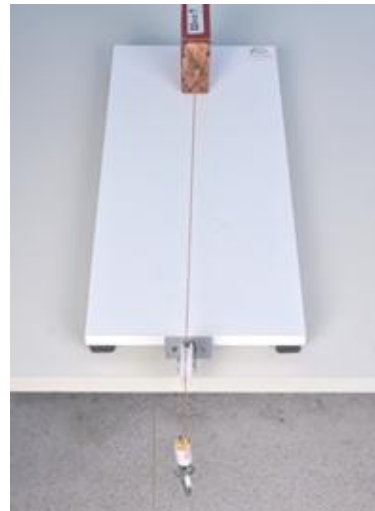
intuição imediata dos alunos frequentemente sugere que uma área maior resultaria em maior resistência. Ao observarem que a massa necessária para romper o estado de repouso permanece praticamente inalterada, os discentes são conduzidos a formalizar que o atrito é uma propriedade de interação entre as superfícies e a força normal, sendo independente da área de contato macroscópica.

Figura 27 – Face A em contato com o plano



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Figura 28 – Face B em contato com o plano



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

5.4.5 Demonstração Lúdica da Força de Atrito

Nesta demonstração lúdica, um estudante usa um carrinho de controle remoto posicionado em cima de uma folha transparente de PVC, que está apoiada sobre 24 lápis de cores. Ao manipular o controle remoto, o carrinho se move sobre a folha para um sentido e a folha de PVC é empurrada para o sentido oposto.

A atividade desperta a curiosidade dos discentes, pois compreender que o carro e a folha se deslocam em sentidos opostos é a tarefa investigativa a que essa demonstração se propõe. Assim, o paradoxo da força de atrito é explicado: afinal, é uma força resistente ou impulsionadora de movimento!

Esta demonstração lúdica também reforça a Terceira Lei de Newton (Ação e Reação). Ao observar o carrinho avançar enquanto a folha é empurrada para trás, o aluno resolve o paradoxo central do produto: compreende que o atrito não é apenas uma força de resistência, mas a força motora essencial que permite o deslocamento do veículo.

As Figuras 29 e 30 exibem a demonstração lúdica, ilustrando o momento da interação entre a folha de PVC e o carrinho.

Figura 29 – Carrinho sobre a folha de PVC



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Figura 30 – Carrinho em movimento sobre o PVC



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

5.5 Etapa III – Questionário Avaliativo 02: Pós-Experimentos

Este questionário tem por objetivo avaliar a eficácia do produto educacional: *Atrito, o Paradoxo do Movimento*, quanto à consolidação dos conceitos de Força de Atrito, verificando a superação das concepções prévias e a compreensão da relação de proporcionalidade entre Força de Atrito e Força Normal (N), bem como a correta distinção entre atrito estático e cinético. Além disso, os estudantes devem ser capazes de interpretar, calcular e comparar os valores dos coeficientes de atrito nos procedimentos experimentais de blocos sobre os planos

horizontal e inclinado.

Para facilitar o acesso e a aplicabilidade deste produto por outros docentes, o questionário 02 pode ser acessado através do QR Code abaixo (Figura 31). A versão impressa completa, com todas as alternativas, também está disponível para consulta no Apêndice B.

Figura 31 – QR Code do Questionário 02



Fonte: QR Code Generator (2025).

O Quadro 4 ilustra as questões aplicadas nessa avaliação.

Quadro 4 – Questionário 02

continua

Questão	Enunciado	Distratores
01	Nos experimentos, as lixas (Nº 60 e Nº 120) coladas no bloco de madeira no plano horizontal serviram para	A) diminuir a massa do bloco. B) aumentar o atrito entre o bloco e a superfície. C) alterar a área de contato do bloco com a superfície. D) deixar a superfície do bloco mais lisa.
02	Mesmo com o aumento gradual do plano inclinado, o bloco de madeira permanece em repouso, prestes a deslizar. Qual das forças listadas abaixo é responsável por impedir o início do movimento?	A) Força de Atrito cinético. B) Força normal, que atua perpendicularmente à superfície do plano. C) Força de atrito estático, que atua no sentido contrário à tendência de movimento. D) Força peso, que atua verticalmente para baixo.
03	No experimento do plano horizontal, o que a força exercida pelo gancho com os pesos das arruelas mede no exato instante em que o bloco começava a se mover?	A) A força normal. B) A força de atrito estático máximo. C) A força de atrito cinético. D) A força peso do bloco.
04	Com base nas suas observações nos experimentos, o coeficiente de atrito depende da(o)	A) peso do bloco. B) velocidade com que o bloco se move. C) material das superfícies em contato, como as lixas. D) força aplicada sobre o bloco.
05	Qual a principal diferença que você identificou entre a força de atrito estático e	A) A força de atrito estático máxima é maior que a força de atrito cinético.

	a de atrito cinético com base nos experimentos?	B) A força de atrito estático é sempre menor que a força de atrito cinético. C) As duas forças são iguais. D) A força de atrito cinético está sempre presente. Quando um corpo está em contato com uma superfície.
06	Qual seria a consequência da ausência de atrito, com base no que você viu nos experimentos?	A) Conseguiríamos andar com mais facilidade. B) Seria impossível andar ou segurar objetos. C) Andaríamos mais rápido. D) Andaríamos mais devagar.
07	Se a superfície do plano inclinado fosse coberta por um material extremamente liso, como o gelo, o que aconteceria com o ângulo mínimo necessário para o bloco começar a deslizar?	A) Aumentaria, pois o atrito seria menor. B) Diminuiria, pois o atrito seria menor. C) Permaneceria o mesmo. D) Aumentaria, pois o peso do bloco seria maior.
08	Durante o experimento no plano horizontal, o que aconteceu com a Força de Atrito Estático Máxima quando você adicionou pesos sobre o bloco de madeira?	A) A força de atrito permaneceu a mesma, pois o material da superfície não mudou. B) Diminuiu, pois o bloco estava mais pesado. C) Aumentou, pois o peso adicional aumentou a Força Normal (N) exercida pela superfície. D) Aumentou apenas se o coeficiente de atrito também aumentasse.
09	Na demonstração lúdica do movimento do carrinho de controle remoto, a Força de Atrito entre o carrinho e a folha de PVC	A) agiu como um freio, impedindo o movimento do carrinho. B) diminui a velocidade do carrinho e da folha de PVC. C) permitiu que as rodas “empurrassem” a folha de PVC para trás, e a folha de PVC empurrasse o carrinho para a frente. D) não havia força de atrito entre o carrinho e a folha de PVC.
10	Durante o experimento da influência da área sobre o valor do coeficiente de atrito estático, qual foi a conclusão principal quando a área de contato com o plano foi alterada?	A) O coeficiente de atrito foi igual para as duas faces (A e B), pois o coeficiente depende apenas do material. B) O coeficiente de atrito estático foi maior na face B (menor área), pois a pressão exercida sobre a superfície aumentou. C) O coeficiente de atrito estático foi maior na face A (maior área), pois houve mais contato entre as superfícies. D) A força de atrito mudou, mas o coeficiente de atrito estático permaneceu constante.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

5.6 Etapa IV – Questionário 03 – Avaliação do Produto Educacional

O objetivo deste questionário é avaliar o *feedback* da aplicação da Sequência Didática Investigativa, analisando a metodologia experimental, o uso de materiais de fácil acesso e a eficácia das atividades práticas na compreensão do estudo da Força de Atrito. Os

dados obtidos subsidiarão a análise qualitativa e quantitativa da viabilidade do Produto Educacional.

Para facilitar o acesso e a aplicabilidade deste produto por outros docentes, o questionário 03 pode ser acessado através do QR Code abaixo (Figura 32). A versão impressa completa, com todas as alternativas, também está disponível para consulta no Apêndice C.

Figura 32 – QR Code do Questionário 03



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

O Quadro 5 ilustra as questões que foram usadas para analisar a motivação, a facilidade de manuseio do kit experimental e a percepção de aprendizagem conceitual do conteúdo abordado.

Quadro 5 – Questionário 03: Avaliação do Produto Educacional

continua

Questão	Enunciado	Distratores
01	Como você avalia a utilidade das atividades experimentais para o entendimento dos conceitos de Força de Atrito estático e cinético?	A) Muito útil. B) Útil. C) Pouco útil. D) Inútil.
02	O uso de materiais do cotidiano e de fácil acesso como bloco de madeira, lixas no plano horizontal e inclinado nas aulas de Física, despertou mais seu interesse pelo conteúdo?	A) Sim, muito. B) Sim, um pouco. C) Não mudou meu interesse. D) Diminuiu meu interesse.
03	Que tipo de recurso você considera mais eficaz para aprender sobre as causas microscópicas do atrito?	A) Experimentos práticos. B) Vídeos. C) Aulas teóricas. D) Simuladores.
04	Você se sente mais confiante para resolver problemas de Física após realizar os experimentos propostos no produto educacional?	A) Muito mais confiante. B) Confiante. C) Não faz diferença. D) Menos confiante.
05	A atividade com o carrinho de controle remoto e a folha de PVC tornou a aula de Física mais interessante e motivadora?	A) Sim, muito. B) Sim, pouco. C) Indiferente. D) Não tenho opinião.
06	Você acredita que o kit (plano horizontal e inclinado) é de fácil manuseio para todos os alunos?	A) Sim, totalmente. B) Sim, em parte.

		C) Pouco acessível. D) Não acessível.
07	O uso do transferidor acoplado ao aparato permitiu que você visualizasse com clareza a variação do ângulo necessária para o bloco começar a deslizar?	A) Sim, totalmente. B) Sim, em parte. C) Tive dificuldade na leitura. D) Não consegui visualizar.
08	Qual sua opinião sobre a combinação de experimentos com o uso do sistema hidráulico (seringas)?	A) Muito positiva. B) Positiva. C) Indiferente. D) Negativa.
09	Como as atividades investigativas impactaram sua motivação para estudar os conceitos de forças?	A) Aumentaram muito. B) Aumentaram. C) Não impactaram. D) Diminuíram.
10	Você gostaria que outros conteúdos de Física fossem ensinados com kits experimentais semelhantes?	A) Sim, com certeza. B) Não, prefiro aulas teóricas. C) Não, acho cansativo. D) Não tenho opinião.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Com os fundamentos teóricos e a estrutura conceitual que compõem o produto educacional – Atrito, O Paradoxo do Movimento, apresentados neste capítulo, é necessário detalhar a metodologia que viabiliza a implementação dessa sequência didática.

O capítulo 6 apresenta a natureza da pesquisa, os sujeitos envolvidos e o detalhamento técnico dos aparatos experimentais, requisitos necessários à implementação desta sequência didática.

6 METODOLOGIA DA PESQUISA E DETALHAMENTO TÉCNICO

Este capítulo apresenta a estrutura da organização, do desenvolvimento e aplicação de uma sequência didática voltada para o ensino de Física na Educação Básica, cujo objetivo é promover nos discentes, por meio da aplicação de um produto educacional, uma evolução conceitual e fenomenológica acerca da Força de Atrito, partindo de concepções prévias e intuitivas, para o letramento científico.

A metodologia dessa sequência didática foi planejada para fomentar uma aprendizagem ativa e significativa, alinhada ao Socioconstrutivismo de Vygotsky e ao Pragmatismo Educacional de Dewey. Dessa forma, a estrutura do produto educacional: Atrito – O Paradoxo do Movimento, foi dividida em etapas que asseguram a mediação do conhecimento na Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) dos alunos, transformando o erro e a dúvida em motivação para implementar-se uma pesquisa que busque uma reconstrução cognitiva e o exercício da curiosidade intelectual. Nessa perspectiva, o conhecimento não é concebido como algo pronto a ser transmitido, mas como uma construção progressiva que emerge da interação entre sujeitos, mediada pela linguagem, pela experiência e pela problematização da realidade.

6.1 Natureza da Pesquisa por Meio da Experimentação

A aplicação desta sequência didática está alinhada aos alicerces de uma pesquisa de natureza quali quantitativa (mista) e intervencionista. A natureza qualitativa se justifica porque a proposta não se limita à observação de fenômenos, mas busca interferir na realidade da sala de aula por meio da experimentação investigativa, visando confrontar as ideias intuitivas de estudantes. Quanto à natureza quantitativa, se justifica porque se coletam dados por meio da aplicação de questionários, cujos resultados de desempenho são tabulados e analisados estatisticamente para evidenciar a evolução da aprendizagem.

Conforme Oliveira *et al.* (2020, s.p.), a pesquisa é caracterizada como qualitativa quando a natureza dos dados e sua análise se constituem em uma abordagem mais textual. Esta perspectiva é reforçada por Gonsalves (2007 *apud* Oliveira *et al.*, 2020), ao afirmar que a pesquisa qualitativa se preocupa

[...] com a compreensão, com a interpretação do fenômeno, considerando o significado que os outros dão às suas práticas, ou seja, uma investigação qualitativa é aquela que busca, essencialmente, a compreensão de concepções, atitudes e

comportamentos a partir da perspectiva dos participantes da investigação (Bogdan; Biklen, 1994 *apud* Oliveira *et al.*, 2020).

Sendo assim, a experimentação com teor investigativo favorece a aprendizagem de conceitos básicos, impulsiona a compreensão de concepções prévias, aproxima os discentes do fazer científico e estimula o desenvolvimento cognitivo. No contexto desta sequência didática, o foco reside no estudo do atrito sob as seguintes abordagens:

- determinação dos coeficientes de atrito estático e cinético utilizando um bloco de madeira revestido por lixas de diferentes granulações (Nº 60 e Nº 120) em um plano horizontal;
- cálculo e comparação analítica desses coeficientes;
- investigação da influência da Força Normal no comportamento da Força de Atrito;
- determinação do coeficiente de atrito estático e cinético em um plano inclinado, utilizando superfícies de tecido e EVA;
- análise da influência da área de contato no valor da Força de Atrito;
- estudo do atrito de rolamento por meio de uma atividade lúdica com um carrinho de controle remoto sobre uma folha de PVC e lápis.

Segundo Minayo (2010, p. 15), a abordagem quali quantitativa não possui necessariamente naturezas opostas, mas podem ser complementares. A pesquisa com natureza mista permite que os dados estatísticos dos questionários sejam validados pela compreensão profunda dos significados atribuídos pelos alunos, proporcionando, segundo Creswell (2010, p. 238), uma visão mais completa do problema de pesquisa.

É oportuno acrescentar que esta sequência didática se alinha às competências e habilidades previstas pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC). No contexto do Ensino Médio, o documento estabelece que:

A BNCC de Ciências da Natureza e suas Tecnologias propõe também que os estudantes ampliem as habilidades investigativas desenvolvidas no Ensino Fundamental, apoiando-se em análises quantitativas e na avaliação e na comparação de modelos explicativos. Além disso, espera-se que eles aprendam a estruturar linguagens argumentativas que lhes permitam comunicar [...] conhecimentos produzidos e propostas de intervenção pautadas em evidências, conhecimentos científicos e princípios éticos e responsáveis (Brasil, 2018, p. 538).

Quanto às competências gerais da Educação Básica propostas pela BNCC, destaca-se a necessidade de exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão e a análise crítica para elaborar e testar hipóteses, formulando soluções pautadas no conhecimento científico.

Dessa forma, o uso do aparato experimental e dos roteiros investigativos aqui propostos visam incentivar que o discente não seja um mero espectador, mas seja capaz de produzir argumentos e fazer julgamentos baseados nas evidências coletadas durante a aplicação dessa sequência didática. Ao confrontar as hipóteses iniciais com os resultados práticos, como a influência da rugosidade e a independência da área de contato, o estudante desenvolve competências críticas essenciais. Tal processo não apenas solidifica a compreensão teórica da força de atrito, mas também promove o letramento científico, capacitando o jovem a interpretar fenômenos cotidianos.

6.2 Contexto e Sujeitos da Pesquisa

A presente investigação foi realizada na Escola de Ensino Médio (EEM) Professora Maria Gonçalves, instituição pertencente à rede pública estadual de ensino, situada na Rua Nossa Senhora do Monte Carmelo, 50, no bairro Boa Vista (próximo ao Castelão), localizada no município de Fortaleza, Ceará. A unidade escolar destaca-se por atender a uma comunidade urbana nas imediações do Castelão, com índice de rendimento escolar bem baixo, principalmente em Matemática e nas disciplinas que compõem Ciências da Natureza.

Os sujeitos da pesquisa foram 32 estudantes da 1ª série do Ensino Médio, do turno tarde, na faixa etária de 15 a 16 anos. A escolha da turma está vinculada ao conteúdo de Mecânica, que é contemplado nessa série, especificamente as Leis de Newton e a Força de Atrito e no bom engajamento que a turma oferece para projetos, aplicação de aulas que requer metodologias ativas e aulas experimentais, que ocorrem com o kit do próprio professor.

A implementação da sequência didática aconteceu nos meses de setembro e outubro de 2025, perfazendo um total de dez aulas.

Quanto aos aspectos éticos, a participação dos discentes ocorreu de forma voluntária e sob a ciência da gestão escolar. Os nomes dos alunos foram preservados em todas as etapas de análise.

6.3 O Produto Educacional: Atrito – O Paradoxo do Movimento

O Produto Educacional, cuja estrutura foi detalhada no capítulo 5, faz parte de uma sequência didática que pretende, a partir de concepções espontâneas dos discentes, provocar uma evolução conceitual sobre a Força de Atrito, abordando a origem, a causa e os efeitos e as consequências. Para Zabala (1998 *apud* Monteiro; Castilho; Souza, 2019, p. 296), a sequência didática é “[...] um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelo professor como pelos alunos”. O itinerário pedagógico da sequência didática foi desenvolvido para promover o letramento científico dos discentes, transformando o senso comum em saber científico através da mediação do docente.

6.3.1 Concepção Pedagógica e a Sequência de Atividades

I – Fase da Avaliação Diagnóstica

Utiliza-se um questionário para identificar os conhecimentos prévios (subsunçores). Esta fase é crucial para situar a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), evidenciando o que o discente já sabe e o que ele é capaz de aprender com a intervenção.

II – Fase de Atividades Experimentais

Nesta fase, o Roteiro de Demonstrações é introduzido. Os alunos, organizados em grupos, são estimulados a formular hipóteses e confrontá-las com a prática. O objetivo é gerar um conflito cognitivo ao investigar variáveis tais como: a rugosidade das lixas que revestem os blocos, a influência do aumento da Força Normal, da área de contato que o bloco exerce sobre a superfície, tudo em prol do aprendizado colaborativo e engajamento coletivo.

III – Fase da Avaliação Pós-Experimentos

Após a coleta e o cálculo dos dados experimentais, os discentes respondem a um novo questionário voltado para percepções que as atividades experimentais proporcionam para o estudo da Força de Atrito. O foco é mensurar o quanto a execução das tarefas contribuiu para a reestruturação dos esquemas mentais e para a evolução conceitual sobre o tema.

IV – Fase do Letramento Científico

Nesta fase, ocorre uma discussão coletiva mediada pelo professor para confrontar os resultados experimentais com as concepções iniciais. Busca-se aqui a consolidação do rigor científico e a apropriação da linguagem técnica da Física, fechando o ciclo da sequência didática.

Durante a execução das fases I e II, foram realizados registros fotográficos para fins de documentação e análise qualitativa da intervenção. Tais imagens, que ilustram o envolvimento dos discentes e a manipulação dos aparatos, no Capítulo 5.

6.3.2 Cronograma e Dinâmica de Aplicação

A sequência didática foi planejada para ser executada em um bloco de 10 horas-aula, organizadas em três grandes momentos pedagógicos. Essa carga horária estendida permite que os estudantes não apenas realizem mecanicamente os experimentos, mas reflitam criticamente sobre os dados coletados, permitindo, assim, que o processo da evolução conceitual ocorra de forma gradual. Cumpre destacar que o detalhamento desse cronograma, bem como a discriminação minuciosa das atividades correspondentes a cada encontro, encontra-se devidamente registrados e mapeados no Quadro 2 do Capítulo 5 desta dissertação.

6.4 Detalhamento Técnico do Aparato Experimental

Para garantir a reprodutibilidade do produto, optou-se por materiais de fácil acesso. O Quadro 7 apresenta a descrição dos materiais usados na montagem do kit experimental. Além de especificações quanto à largura, comprimento, altura, massa, peso e cor, a descrição informa onde encontrar o material especificado e a funcionalidade.

Quadro 6 – Descrição dos materiais usados nos experimentos

Item	Material	Dimensões	Descrição	Onde comprar
1	Tábua de madeira	20 cm × 40 cm × 1,5 cm 1 unidade	Base de madeira plana e lisa, utilizada como plano horizontal para o estudo do Atrito Estático e Cinético.	Marcenarias
2	Tábua de madeira	15 cm × 30 cm × 1,5 cm	Superfície móvel que permite variar o ângulo de	Marcenarias

continua









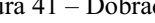
		2 unidades	inclinação para análise da Força de Atrito em função do ângulo crítico.	
3	Bases de PVC	4 unidades	Fixam a base do experimento à mesa, evitando deslocamentos durante os testes.	Lojas de material de construção, sucatas de PVC, oficinas.
4	Parafusos	4 unidades	Fixação estrutural das bases e componentes do sistema.	Lojas de ferragens, material de construção.
5	Parafuso tipo L	1 unidade	Atua como ponto de apoio e articulação do plano inclinado.	Lojas de ferragens, material de construção.
6	Sistema de Tração	1 unidade	Polia plástica (4 cm diâmetro) e um barbante de 30 cm.	Lojas de ferragens, material de construção.
7	Seringas	2 unidades (10 ml)	Utilizadas como atuadores hidráulicos para ajustar gradualmente a inclinação do plano.	Farmácias
8	Mangueira transparente	50 cm	Conecta as seringas, funcionando como sistema hidráulico para nivelamento e inclinação.	Lojas de material de construção.
9	Palitos de madeira	2 unidades (30 cm)	Auxiliam como hastes de suporte ou referência angular no plano inclinado.	Papelarias, lojas de artesanato.
10	Dobradiças pequenas	2 unidades (16 mm × 13 mm)	Permitem a articulação entre o plano inclinado e a base horizontal.	Lojas de ferragens e material de construção.
11	Parafusos para dobradiças	8 unidades (M4 × 0,8 mm)	Fixação das dobradiças à madeira.	Lojas de ferragens.
12	Bloco 1	5,2 cm x 10,5 cm x 4,3 cm Massa: 259,0 g Peso: 2,54 N	Utilizado no plano horizontal liso para estudo do atrito estático e cinético com diferentes superfícies.	Marcenarias, sobras de madeira.
13	Bloco 2	4,7 cm x 10,4 cm x 5,0 cm Massa: 264,0 g Peso: 2,59 N	Utilizado no plano inclinado para analisar o atrito em diferentes materiais de contato.	Marcenarias, sobras de madeira.
14	Bloco 3	5,1 cm x 8,7 cm x 7,5 cm Massa: 252,0 g Peso: 2,47 N	Usado no plano horizontal para investigar a influência da força normal no coeficiente de atrito estático.	Marcenarias, sobras de madeira.
15	Bloco 4	3,0 cm x 11,1 cm x 4,4 cm Massa: 124,0 g Peso: 1,21 N	Utilizado para estudar a influência da área de contato no cálculo do coeficiente de atrito estático	Marcenarias, sobras de madeira.
16	Carrinho de controle remoto	1 unidade	Utilizado na demonstração lúdica do atrito de rolamento.	Lojas de brinquedos
17	Lápis de cor	1 caixa com 24 lápis	Utilizado na demonstração do atrito de rolamento.	Papelarias
18	Folha de PVC	27 cm x 52 cm 1 unidade	Pista do carrinho de controle remoto	Papelarias
19	Transferidor	1 unidade	Dispositivo para medir ângulos.	Papelarias
20	Cola Branca	1 unidade	Utilizada para fazer acabamentos.	Papelarias

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

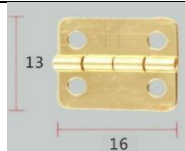


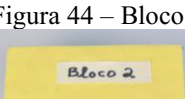
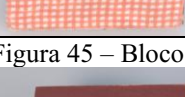




Com o objetivo de deixar a descrição mais detalhada, o Quadro 08 informa algumas observações que facilitam a aplicação e o manuseio dessa sequência didática.

Quadro 7 – Especificações e Registros Fotográficos dos Materiais¹

continua

Item	Observações	Figura
1	Plano horizontal: preferencialmente branca, para melhor visualização dos blocos.	Figura 33 – Plano horizontal 
2	Plano Inclinado: possui possibilidade de diversas inclinações.	Figura 34 – Plano inclinado 
3	Bases de PVC: contribuem para reduzir vibrações e deslizamentos.	Figura 35 – Bases do Plano 
4	Parafusos médios compatíveis com madeira e PVC.	Figura 36 – Parafusos médios 
5	Parafuso tipo L: auxilia na regulação da inclinação.	Figura 37 – Parafuso tipo L 
6	Seringas: permitem controle fino do ângulo por meio da compressão do êmbolo.	Figura 38 – Seringa descartável 
7	Mangueira tipo nível.	Figura 39 – Mangueira transparente 
8	Palito de madeira: uso estrutural e alinhamento do trajeto do bloco.	Figura 40 – Palito de churrasco 
9	Dobradiças: garantem movimento suave e controlado.	Figura 41 – Dobradiças 

¹ Todas as figuras e os gráficos que estão dentro dos Quadros foram elaboradas pela autora.

		
10	Parafusos para dobradiças: devem ser bem ajustados para evitar folgas.	Figura 42 – Parafusos para dobradiça 
11	Bloco 1: faces revestidas com lixa N° 60 e N° 120.	Figura 43 – Bloco 1 
12	Bloco 2: faces revestidas com lixa para ferro N° 40, EVA, papel e tecido.	Figura 44 – Bloco 2 
13	Bloco 3: usado para testar a influência da área no cálculo do coeficiente de atrito estático.	Figura 45 – Bloco 3 
14	Bloco 4: faces revestidas com lixas N° 120 e N° 220.	Figura 46 – Bloco 4 
15	Carrinho de controle remoto: pode ser qualquer carrinho de tamanho médio.	Figura 47 – Carrinho de controle remoto 
16	Lápis de cor: facilitar o deslocamento do carrinho sobre a folha de PVC.	Figura 48 – Lápis de cor 
17	A folha de PVC transparente facilita a visualização da demonstração lúdica.	Figura 49 – Folha de PVC 

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A identificação dos materiais usados no revestimento dos blocos de madeira é apresentada no Quadro 09. Embora as faces do Bloco 2, revestidas com lixa para ferro N° 40 e papel não tenham sido utilizadas neste aparato, deixo a referência para outras possibilidades de implantação. A ideia de revestir os blocos com esses materiais é simular superfícies que

oferecem muito atrito, baixo atrito, alta rugosidade, alto e baixo poder de adesão. São materiais que os estudantes podem fazer analogias com outros que fazem parte do nosso cotidiano.

Quadro 8 – Detalhamento das superfícies de contato

Material de Revestimento	Local de Aplicação	Função Pedagógica
Lixa N° 60	Bloco 1	Simular uma superfície que oferece muita rugosidade.
Lixa N° 120	Bloco 1	Simular uma superfície que oferece baixa rugosidade.
Lixa Para Ferro N° 40	Bloco 2	Simular uma superfície que oferece alta rugosidade
Tecido	Bloco 2	Simular uma superfície que oferece pouca rugosidade
Eva	Bloco 2	Simular uma superfície com alto poder da adesão.
Papel	Bloco 2	Simular uma superfície com baixo poder da adesão.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

6.5 Descrição da Montagem e Funcionalidade

Basicamente, a estrutura do aparato experimental dessa sequência didática utiliza uma tábua de madeira (20 cm x 40 cm) para fazer o plano horizontal e duas tábuas de madeira (15 cm x 30 cm), para fazer o plano inclinado. Além disso, o aparato conta com quatro blocos de madeira de tamanho e massa especificados no quadro 05 e acessórios essenciais para um funcionamento do aparato experimental.

Seguem os passos necessários para montagem e funcionalidade do produto educacional:

6.5.1 Plano Horizontal

Posicione a tábua de madeira destinada ao plano horizontal sobre a mesa de apoio e fixe, na face inferior, as quatro bases de PVC, distribuídas próximas aos cantos, conforme ilustra a Figura 50. Use ferramentas, como chave de fenda ou estrela, para apertar os parafusos das bases, pois elas garantem aderência à mesa e evitam deslocamentos durante os experimentos. O nivelamento do plano também é importante para não comprometer os resultados.

A escolha do PVC para a confecção das bases justifica-se pela sua excelente capacidade de aderência. Ao atuarem como sapatas amortecedoras, essas bases aumentam o

coeficiente de atrito estático entre o aparato e a mesa de apoio, impedindo que vibrações ou a própria força de tração exercida pela polia causem o deslocamento indesejado de toda a estrutura.

Figura 50 – Bases de PVC do Plano Horizontal



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Em um experimento de alta sensibilidade como o de atrito, mesmo inclinações imperceptíveis a olho nu podem introduzir variações significativas nos coeficientes estático e cinético calculados. Assim, a verificação criteriosa do nivelamento eleva o experimento de uma simples demonstração para uma prática laboratorial rigorosa e controlada.

Depois fixe uma polia plástica em uma das extremidades do plano usando parafusos com o tamanho adequado conforme mostra a Figura 51. A utilização da polia de plástico desempenha um papel fundamental na configuração do sistema de tração, atuando como um elemento de redirecionamento da força peso das arruelas para o bloco horizontal.

Figura 51 – Polia plástica do sistema de tração

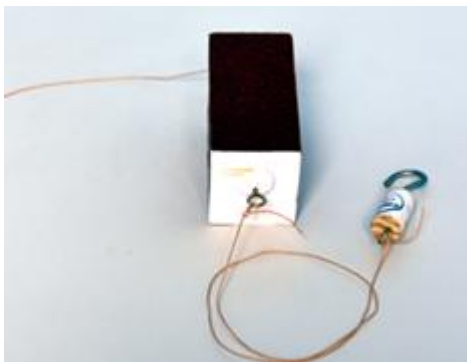


Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Para compor o sistema de tração do plano horizontal, amarre um pedaço de barbante no gancho metálico do bloco 1 e pendure a outra ponta do barbante no gancho de cortiça, onde as arruelas ficam penduradas para fazer o tracionamento do sistema.

A montagem dos revestimentos dos blocos 01 e 03 seguiu o seguinte critério: uma face foi revestida com lixa N°60, a outra com lixa N° 120, fixadas com cola branca. As outras duas faces são revestidas de PVC só para deixar uma opção de baixo atrito, caso o aplicador queira elaborar uma atividade investigativa e comparativa com as lixas. Essa estratégia permite que o aluno inverta o bloco e perceba imediatamente a mudança na força de atrito, sem alterar a massa do sistema. As Figuras 52 e 53 mostram os detalhes do sistema de tração e o gancho, usado para inserir as arruelas.

Figura 52 – Sistema de tração



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Figura 53 – Gancho com arruelas



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

O barbante que interliga o bloco 01 e o gancho metálico mede 30 cm. Para melhor fixação, o gancho é inserido em um pedaço de cortiça. Durante o manuseio do experimento, o cordão não deve tocar na superfície onde o plano foi colocado para não comprometer os resultados da prática.

6.5.2 Plano Inclinado

Para a montagem do plano inclinado, utilizam-se duas tábuas de madeira com dimensões de 15 cm x 30 cm. A primeira servirá como base fixa horizontal, enquanto a segunda terá sua inclinação ajustável por meio de um sistema hidráulico, detalhado na seção seguinte. As tábuas devem ser unidas em uma de suas extremidades pela instalação de dobradiças, o que permite uma amplitude de inclinação de 0° a 90°. A leitura da inclinação é feita utilizando um

transferidor, colado na base horizontal.

Posteriormente, cole na parte superior do plano inclinado dois palitos de madeira de tal maneira que sirva de pista para o bloco percorrer. O intuito é não deixar que o bloco saia do alinhamento, pois ele pode descer desgovernado no plano inclinado e dificultar a leitura correta da inclinação do plano.

As Figuras 54 e 55 mostram o plano inclinado aberto e alguns detalhes da montagem. Durante a confecção desse aparato experimental, o aplicador deve colocar as dobradiças bem na junção das duas tábuas que vão compor o plano inclinado e ter cuidado no posicionamento do transferidor, pois o ângulo de 0° deve estar alinhado com a superfície superior da base horizontal.

Figura 54 – Dobradiças do plano inclinado



Fonte: Elaborada pela autora (2026).

Figura 55 – Plano inclinado



Fonte: Elaborada pela autora (2026).

6.5.3 Sistema Hidráulico de Elevação do Plano Inclinado

O sistema hidráulico do Produto Educacional – Atrito, O Paradoxo do Movimento foi idealizado com o intuito de controlar a inclinação do plano e, conseqüentemente, deixar o movimento do Bloco 02 sem oscilações.

O sistema é baseado no Princípio de Pascal, composto por duas seringas descartáveis de 10 ml cada. Para construir esse dispositivo, fixe uma seringa na base horizontal, de maneira inclinada e a outra seringa deve ser posicionada sobre a base horizontal, encaixada em pedacinho de cano.

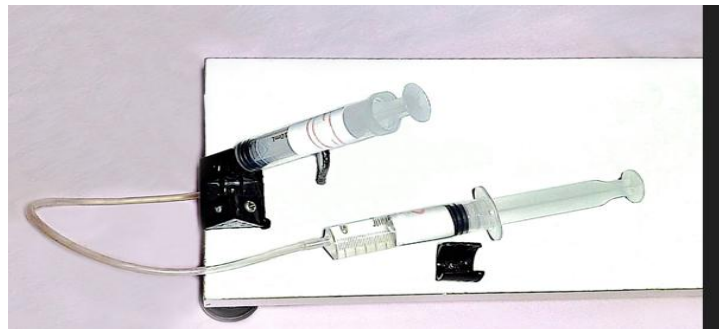
As duas seringas são conectadas por meio de um pedaço de mangueira transparente, por onde a água flui. Quando o operador aciona lentamente o êmbolo da seringa que está sobre o plano horizontal, a pressão exercida pela água é transmitida através da mangueira, e o êmbolo da outra seringa força a elevação do plano. Com isso aumenta-se a inclinação do plano de forma

suave e o objetivo do experimento é alcançado.

A fixação do parafuso tipo L instalado na base horizontal funciona como um ponto de apoio do plano inclinado.

A Figura 56 representa o sistema hidráulico desenvolvido para deixar o produto mais interessante e aguçar a curiosidade dos estudantes. O foco da sequência didática é o estudo da Força de Atrito, mas os preceitos da Hidrostática para construir o dispositivo foram essenciais. Muitos estudantes querem compreender esse dispositivo e de que maneira um simples incremento de pressão na água faz o plano subir ao ponto de provocar o deslocamento de um bloco que estava em repouso. Para segurar a seringa que está inclinada, coloca-se um terminal de barreira.

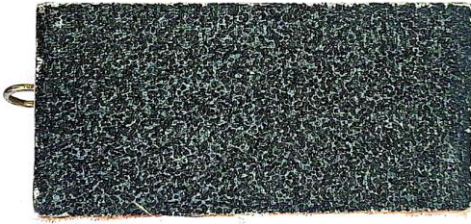
Figura 56 – Sistema hidráulico de inclinação do plano



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

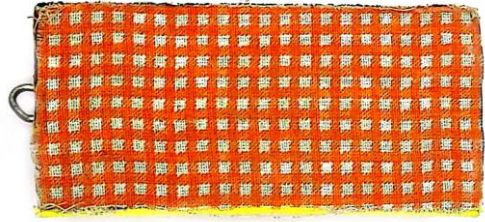
Para finalizar a montagem do experimento do plano inclinado, os revestimentos do Bloco 02 foram feitos com quatro tipos de materiais: EVA, lixa para ferro N° 40, tecido e papel comum branco, todos fixados com cola branca. Como já foi ressaltado, o experimento foi implementado usando apenas duas faces do Bloco 02 para não exceder o tempo descrito no cronograma, nem causar fadiga nos estudantes. As Figuras 57 e 58 mostram o material do revestimento.

Figura 57 – Bloco revestido com lixa Nº 40



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Figura 58 – Bloco revestido com tecido



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados e a discussão dos dados coletados durante a aplicação do Produto Educacional: Atrito – O Paradoxo do Movimento. A análise fundamenta-se na triangulação metodológica de caráter qualitativa e quantitativa, confrontando as concepções prévias dos 32 alunos com a evolução observada após as atividades experimentais.

Para Minayo, (2010, p.13), a triangulação metodológica “abrange o uso de múltiplos métodos no estudo de um mesmo objeto. É uma forma de abordar o fenômeno de vários ângulos, permitindo uma compreensão mais profunda e abrangente.”

7.1 Perfil da Turma e Aplicação

A aplicação do Produto Educacional: Atrito – O Paradoxo do Movimento aconteceu em uma escola estadual de Fortaleza, Professora Maria Gonçalves, com a participação de trinta e dois alunos da 1ª série do Ensino Médio do turno da tarde. À época da aplicação do produto, setembro e outubro de 2025, a escola era Regime Regular. Nesse novo ano letivo, 2026, passou para Regime de Tempo Integral. A Figura 59 mostra a entrada da escola onde o produto foi aplicado.

Figura 59 – Entrada da EEMTI Professora Maria Gonçalves



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Durante a implementação do produto educacional, a turma apresentou um perfil de engajamento e colaboração, demonstrando protagonismo durante as atividades experimentais e

disposição na realização das etapas avaliativas. O clima das aulas foi marcado pela interatividade, com os estudantes respondendo prontamente aos instrumentos de coleta de dados. Contudo, observou-se que, apesar do comportamento ativo, a turma apresentou dificuldades no processo de aprendizagem de alguns tópicos relacionados ao estudo da Força de Atrito. Os Quadros 10 e 11 apresentam os registros fotográficos de alguns momentos da intervenção, nos quais é possível notar a transição do manuseio técnico dos equipamentos para a discussão reflexiva sobre os fenômenos observados.

Quadro 9 – Registros da Aplicação da Sequência Didática



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A aplicação do produto educacional ocorreu de forma itinerante, alternando entre o laboratório de ciências e a sala de aula regular. Embora o laboratório seja espaço mais indicado para realização de experimentos e foco investigativo, a realização das atividades em sala de aula prova que o rigor científico não está condicionado a um espaço físico específico. Essa flexibilidade assegura que o docente tenha autonomia para promover o ensino de Física experimental em qualquer contexto escolar.

Quadro 10 – Registros da Aplicação da Sequência Didática



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Para acompanhar a evolução desse aprendizado, os três questionários foram aplicados em momentos distintos, conforme consta no cronograma do produto educacional apresentado no capítulo 5. O primeiro atuou como avaliação diagnóstica, o segundo ocorreu logo após a intervenção dos experimentos para verificar a retenção dos novos conhecimentos e o terceiro para avaliar a eficácia do produto educacional. Essa estrutura avaliativa permitiu não apenas a mensuração de acertos e erros, mas, sobretudo, o acompanhamento da reestruturação

conceitual vivenciada pelos discentes.

7.2 Análise dos Resultados e Conflitos Cognitivos do Questionário 01

A etapa I do cronograma do Produto Educacional consistiu na aplicação do Questionário 01, uma avaliação de conhecimentos prévios, sobre a causa do atrito, situações cotidianas em que o atrito é essencial e os conceitos de Força de Atrito Estático e Cinético. A Figura 60 ilustra a aplicação desse questionário.

Figura 60 – Aplicação do Questionário 01



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

O Quadro 12 sintetiza os índices percentuais de cada item assinalado pelos estudantes nas questões aplicadas nessa avaliação diagnóstica.

Quadro 11 – Análise Quantitativa de cada Item Assinalado do Questionário 01

continua

Questão	Enunciado	Distratores	Resultado percentual por item assinalado
01	Quando um objeto desliza sobre uma superfície, qual a principal causa da força de atrito?	<p>A) A gravidade puxando o objeto para baixo.</p> <p>B) A resistência do ar contra o movimento.</p> <p>C) As irregularidades entre as superfícies em contato.</p> <p>D) A força aplicada para iniciar o movimento.</p> <p>Gabarito – C</p>	<p>Gráfico 1</p> <p>● A ● C ● D</p> <p>A 34,4%</p> <p>C 31,3%</p> <p>D 34,4%</p>

02	Em qual das situações abaixo a força de atrito é útil e necessária?	<p>A) Patinar no gelo com velocidade constante. B) Deslizar em um tobogã. C) Acender um fósforo. D) Empurrar um móvel pesado.</p> <p>Gabarito – C</p>	<p>Gráfico 2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Opção</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>18.8%</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>18.8%</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>40.6%</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>21.9%</td> </tr> </tbody> </table>	Opção	Porcentagem	A	18.8%	B	18.8%	C	40.6%	D	21.9%
Opção	Porcentagem												
A	18.8%												
B	18.8%												
C	40.6%												
D	21.9%												
03	O que acontece com a intensidade da força de atrito quando aumentamos a força que pressiona um objeto contra uma superfície?	<p>A) Diminui. B) Permanece igual. C) Aumenta. D) Depende do tipo de material.</p> <p>Gabarito – C</p>	<p>Gráfico 3</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Opção</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>9.4%</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>28.1%</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>46.9%</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>15.6%</td> </tr> </tbody> </table>	Opção	Porcentagem	A	9.4%	B	28.1%	C	46.9%	D	15.6%
Opção	Porcentagem												
A	9.4%												
B	28.1%												
C	46.9%												
D	15.6%												
04	Qual a diferença entre atrito estático e atrito cinético?	<p>A) Atrito estático ocorre quando o objeto está em movimento e cinético quando está em repouso. B) Atrito estático é sempre maior que o atrito cinético. C) Atrito cinético é sempre maior que o atrito estático. D) Não há diferença entre eles.</p> <p>Gabarito – B</p>	<p>Gráfico 4</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Opção</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>37.5%</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>37.5%</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>21.9%</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>3.1%</td> </tr> </tbody> </table>	Opção	Porcentagem	A	37.5%	B	37.5%	C	21.9%	D	3.1%
Opção	Porcentagem												
A	37.5%												
B	37.5%												
C	21.9%												
D	3.1%												
05	Uma caixa está em repouso sobre uma superfície horizontal. Qual força impede que ela se mova caso alguém tente empurrá-la?	<p>A) Força peso. B) Força normal. C) Força de atrito estático. D) Força de atrito cinético.</p> <p>Gabarito – C</p>	<p>Gráfico 5</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Opção</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>12.5%</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>40.6%</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>21.9%</td> </tr> </tbody> </table>	Opção	Porcentagem	A	25%	B	12.5%	C	40.6%	D	21.9%
Opção	Porcentagem												
A	25%												
B	12.5%												
C	40.6%												
D	21.9%												
06	Quando um carro freia bruscamente, o que causa a diminuição da velocidade?	<p>A) A força do motor. B) A força de atrito entre os pneus e o asfalto. C) A inércia do carro. D) A força da gravidade.</p> <p>Gabarito – B</p>	<p>Gráfico 6</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Opção</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>3.1%</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>65.6%</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>21.9%</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>9.4%</td> </tr> </tbody> </table>	Opção	Porcentagem	A	3.1%	B	65.6%	C	21.9%	D	9.4%
Opção	Porcentagem												
A	3.1%												
B	65.6%												
C	21.9%												
D	9.4%												

07	Em qual superfície é mais fácil empurrar um objeto pesado?	<p>A) Asfalto rugoso. B) Carpete. C) Gelo. D) Concreto seco.</p> <p>Gabarito – C</p>	<p>Gráfico 7</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Alternativa</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>6,3%</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>6,3%</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>78,1%</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>9,4%</td> </tr> </tbody> </table>	Alternativa	Porcentagem	A	6,3%	B	6,3%	C	78,1%	D	9,4%
Alternativa	Porcentagem												
A	6,3%												
B	6,3%												
C	78,1%												
D	9,4%												
08	O coeficiente de atrito depende	<p>A) da área de contato entre as superfícies. B) da velocidade do objeto. C) do material das superfícies em contato. D) da força aplicada sobre o objeto.</p> <p>Gabarito – C</p>	<p>Gráfico 8</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Alternativa</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>28,1%</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>3,1%</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>40,6%</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>28,1%</td> </tr> </tbody> </table>	Alternativa	Porcentagem	A	28,1%	B	3,1%	C	40,6%	D	28,1%
Alternativa	Porcentagem												
A	28,1%												
B	3,1%												
C	40,6%												
D	28,1%												
09	Um livro está em repouso sobre uma mesa inclinada. Qual força impede que ele deslize para baixo?	<p>A) A força peso. B) A força normal. C) A força de atrito estático. D) A força de atrito cinético.</p> <p>Gabarito – C</p>	<p>Gráfico 9</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Alternativa</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>15,6%</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>9,4%</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>25%</td> </tr> </tbody> </table>	Alternativa	Porcentagem	A	15,6%	B	9,4%	C	50%	D	25%
Alternativa	Porcentagem												
A	15,6%												
B	9,4%												
C	50%												
D	25%												
10	Qual a consequência da ausência de atrito entre os nossos pés e o chão ao caminharmos?	<p>A) Conseguiríamos andar com mais facilidade. B) Seria impossível andar. C) Andaríamos mais rápido. D) Andaríamos mais devagar.</p> <p>Gabarito – B</p>	<p>Gráfico 10</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Alternativa</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>9,4%</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>59,4%</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>9,4%</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>21,9%</td> </tr> </tbody> </table>	Alternativa	Porcentagem	A	9,4%	B	59,4%	C	9,4%	D	21,9%
Alternativa	Porcentagem												
A	9,4%												
B	59,4%												
C	9,4%												
D	21,9%												

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

No que tange à Questão 01, que investiga a origem física da Força de Atrito, observou-se que 68,8% dos discentes associaram o fenômeno a fatores externos, como a resistência do ar ou à própria força aplicada para iniciar o movimento. Este resultado evidencia

que, embora os estudantes vivenciem os efeitos macroscópicos do atrito, desconhecem a sua natureza microscópica relacionada às interações e irregularidades das superfícies em contato, caracterizando um obstáculo conceitual primário.

A Questão 02 abordou a utilidade do atrito no cotidiano. Por tratar-se de uma situação fenomenológica mais próxima da realidade do aluno, o índice de acerto foi melhor, com 41% de respostas corretas ao identificarem a necessidade do atrito para o acendimento de um palito de fósforo. Esse dado reforça que o saber empírico facilita a compreensão de aplicações práticas, mesmo quando a teoria ainda não está formalizada.

Quanto às Questões 03, 04 e 05, que exigiam conhecimentos específicos sobre a distinção entre atrito estático e cinético, bem como a influência da Força Normal, os resultados demonstraram uma elevada fragmentação. A distribuição das respostas ocorreu de forma equitativa entre as quatro alternativas, indicando que os discentes, mesmo tendo estudado previamente apenas as Leis de Newton de forma genérica, não possuíam subsunçores (conhecimentos prévios) estruturados para diferenciar tais conceitos, recorrendo ao preenchimento aleatório.

Na Questão 06, referente à frenagem de um veículo, verificou-se que 65,6% dos alunos assinalaram o gabarito correto. É interessante notar que, embora apresentassem dificuldades na Questão 01 (causa microscópica), os estudantes demonstraram clareza quanto à relevância do atrito em situações de segurança e trânsito. Essa discrepância sugere que discussões sociais e cotidianas permitem ao aluno isolar o sistema pneu-solo com facilidade, ainda que a física do contato permaneça incompreendida.

Similarmente, a Questão 07 apresentou um desempenho positivo (78,1% de acertos) ao questionar sobre a superfície que facilita o deslocamento de objetos pesados. A escolha majoritária pelo gelo reitera que o conhecimento intuitivo sobre o polimento de superfícies é sólido, servindo como um excelente ponto de partida para a intervenção experimental proposta.

As Questões 08 e 09, que versavam sobre o coeficiente de atrito e a decomposição de forças em planos inclinados, confirmaram a fragilidade conceitual da turma. O padrão de respostas aleatórias indica que termos técnicos e representações vetoriais mais complexas ainda não faziam parte do repertório cognitivo dos estudantes antes da aplicação do Produto Educacional.

Por fim, a Questão 10 investigou a percepção dos estudantes sobre a ausência de atrito no ato de caminhar. Verificou-se que 59,4% dos discentes identificaram corretamente que, sem a interação entre os pés e o solo, seria impossível realizar o deslocamento. Embora

este percentual indique uma compreensão intuitiva razoável sobre a utilidade do atrito, quando contrastado com os resultados da Questão 01, percebe-se que os alunos reconhecem o fenômeno na prática (o caminhar), mas ainda carecem de fundamentação teórica sobre 'como' essa força atua.

7.3 Avaliação da Aprendizagem Pós-Intervenção: Resultados e Evolução Conceitual

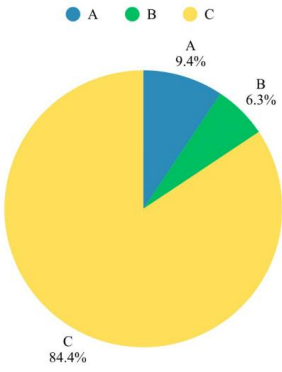
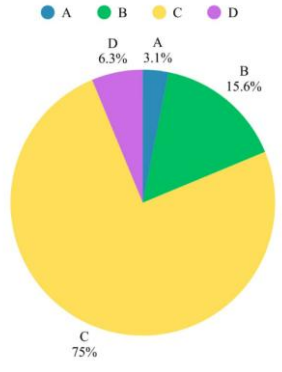
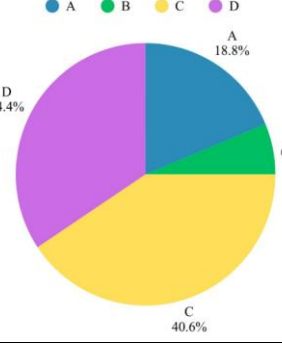
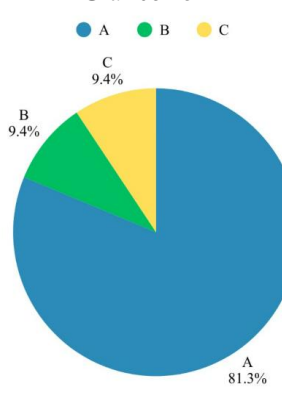
Após a implementação das atividades experimentais descritas no Roteiro de Demonstrações do Produto Educacional: Atrito – O Paradoxo do Movimento, os estudantes foram submetidos ao questionário 02. Este instrumento visa avaliar a eficácia da sequência didática quanto à consolidação dos conceitos de Força de Atrito, à compreensão da relação de proporcionalidade entre a Força de Atrito e a Força Normal, a influência da área de contato do bloco com a superfície, bem como à correta distinção entre os regimes estático e cinético.

Além disso, esta etapa permitiu averiguar a evolução conceitual frente às dificuldades identificadas no questionário 01 (diagnóstico). A análise dos dados apresentados no Quadro 13 não se restringe apenas à contagem quantitativa de acertos, mas busca identificar padrões de raciocínio que indiquem a superação de obstáculos epistemológicos comuns ao ensino de Força de Atrito. A tabulação dos percentuais de escolha em cada alternativa permite visualizar de forma clara onde as intervenções experimentais foram mais incisivas e em quais pontos as concepções alternativas ainda persistiram.

Quadro 12 – Análise Quantitativa de cada Item Assinalado do Questionário 02

continua

Questão	Enunciado	Distratores	Resultado percentual por item assinalado
01	Nos experimentos, as lixas (Nº 60 e Nº 120) coladas no bloco de madeira no plano horizontal serviram para	A) diminuir a massa do bloco. B) aumentar o atrito entre o bloco e a superfície. C) alterar a área de contato do bloco com a superfície. D) deixar a superfície do bloco mais lisa. Gabarito – B	<p>Gráfico 11</p> <p>Gráfico 11 mostra o resultado percentual por item assinalado para a Questão 01. O gráfico de pizza apresenta duas alternativas: B (verde) com 87,5% e C (amarelo) com 12,5%.</p>
02	Mesmo com o aumento gradual do plano	A) Força de Atrito cinético.	Gráfico 12

	<p>inclinado, o bloco de madeira permanece em repouso, prestes a deslizar.</p> <p>Qual das forças listadas abaixo é responsável por impedir o início do movimento?</p>	<p>B) Força normal, que atua perpendicularmente à superfície do plano.</p> <p>C) Força de atrito estático, que atua no sentido contrário à tendência de movimento.</p> <p>D) Força peso, que atua verticalmente para baixo.</p> <p>Gabarito – C</p>	 <p>Gráfico 13</p> <p>● A ● B ● C</p> <p>A 9.4% B 6.3% C 84.4%</p>
03	<p>No experimento do plano horizontal, o que a força exercida pelo gancho com os pesos das arruelas mede no exato instante em que o bloco começava a se mover?</p>	<p>A) A força normal.</p> <p>B) A força de atrito estático máximo.</p> <p>C) A força de atrito cinético.</p> <p>D) A força peso do bloco.</p> <p>Gabarito – B</p>	 <p>Gráfico 13</p> <p>● A ● B ● C ● D</p> <p>D 6.3% A 3.1% B 15.6% C 75%</p>
04	<p>Com base nas suas observações nos experimentos, o coeficiente de atrito depende da(o)</p>	<p>A) peso do bloco.</p> <p>B) velocidade com que o bloco se move.</p> <p>C) material das superfícies em contato, como as lixas.</p> <p>D) força aplicada sobre o bloco.</p> <p>Gabarito – C</p>	 <p>Gráfico 14</p> <p>● A ● B ● C ● D</p> <p>A 18.8% B 6.3% D 34.4% C 40.6%</p>
05	<p>Qual a principal diferença que você identificou entre a força de atrito estático e a de atrito cinético com base nos experimentos?</p>	<p>A) A força de atrito estático máxima é maior que a força de atrito cinético.</p> <p>B) A força de atrito estático é sempre menor que a força de atrito cinético.</p> <p>C) As duas forças são iguais.</p> <p>D) A força de atrito cinético está sempre presente, quando um corpo está em contato com uma superfície.</p> <p>Gabarito – A</p>	 <p>Gráfico 15</p> <p>● A ● B ● C</p> <p>C 9.4% B 9.4% A 81.3%</p>
06	<p>Qual seria a consequência da ausência de atrito, com</p>	<p>A) Conseguiríamos andar com mais facilidade.</p>	<p>Gráfico 16</p>

	base no que você viu nos experimentos?	B) Seria impossível andar ou segurar objetos. C) Andaríamos mais rápido. D) Andaríamos mais devagar. Gabarito – B	<p>Gráfico 17</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Opção</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>21,9%</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>68,8%</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>9,4%</td> </tr> </tbody> </table>	Opção	Porcentagem	A	21,9%	B	68,8%	C	0%	D	9,4%
Opção	Porcentagem												
A	21,9%												
B	68,8%												
C	0%												
D	9,4%												
07	Se a superfície do plano inclinado fosse coberta por um material extremamente liso, como o gelo, o que aconteceria com o ângulo mínimo necessário para o bloco começar a deslizar?	A) Aumentaria, pois o atrito seria menor. B) Diminuiria, pois o atrito seria menor. C) Permaneceria o mesmo. D) Aumentaria, pois o peso do bloco seria maior. Gabarito – B	<p>Gráfico 17</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Opção</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>21,9%</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>68,8%</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>9,4%</td> </tr> </tbody> </table>	Opção	Porcentagem	A	21,9%	B	68,8%	C	9,4%		
Opção	Porcentagem												
A	21,9%												
B	68,8%												
C	9,4%												
08	Durante o experimento no plano horizontal, o que aconteceu com a Força de Atrito Estático Máxima quando você adicionou pesos sobre o bloco de madeira?	A) A força de atrito permaneceu a mesma, pois o material da superfície não mudou. B) Diminuiu, pois o bloco estava mais pesado. C) Aumentou, pois o peso adicional aumentou a Força Normal (N) exercida pela superfície. D) Aumentou apenas se o coeficiente de atrito também aumentasse. Gabarito – C	<p>Gráfico 18</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Opção</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>40,6%</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>21,9%</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>37,5%</td> </tr> </tbody> </table>	Opção	Porcentagem	A	40,6%	B	21,9%	C	37,5%		
Opção	Porcentagem												
A	40,6%												
B	21,9%												
C	37,5%												
09	Na demonstração lúdica do movimento do carrinho de controle remoto, a Força de Atrito entre o carrinho e a folha de PVC	A) agiu como um freio, impedindo o movimento do carrinho. B) diminui a velocidade do carrinho e da folha de PVC. C) permitiu que as rodas "empurrassem" a folha de PVC para trás, e a folha de PVC empurrasse o carrinho para a frente. D) não havia força de atrito entre o carrinho e a folha de PVC. Gabarito – C	<p>Gráfico 19</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Opção</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>3,1%</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>3,1%</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>93,8%</td> </tr> </tbody> </table>	Opção	Porcentagem	A	3,1%	B	3,1%	C	93,8%		
Opção	Porcentagem												
A	3,1%												
B	3,1%												
C	93,8%												
10	Durante o experimento da influência da área sobre o valor do	A) O coeficiente de atrito foi igual para as duas faces (A e B), pois o	Gráfico 20										

	<p>coeficiente de atrito estático, qual foi a conclusão principal quando a área de contato com o plano foi alterada?</p>	<p>coeficiente depende apenas do material. B) O coeficiente de atrito estático foi maior na face B (menor área), pois a pressão exercida sobre a superfície aumentou. C) O coeficiente de atrito estático foi maior na face A (maior área), pois houve mais contato entre as superfícies. D) A força de atrito mudou, mas o coeficiente de atrito estático permaneceu constante. Gabarito – A</p>	<table border="1"> <caption>Distribuição das Respostas para a Questão 02</caption> <thead> <tr> <th>Resposta</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>65,6%</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>3,1%</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>15,6%</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>15,6%</td> </tr> </tbody> </table>	Resposta	Porcentagem	A	65,6%	B	3,1%	C	15,6%	D	15,6%
Resposta	Porcentagem												
A	65,6%												
B	3,1%												
C	15,6%												
D	15,6%												

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A análise comparativa entre os resultados obtidos antes e depois da aplicação do produto educacional revela uma reestruturação significativa dos subsunçores dos discentes. Com base nos dados dos quadros 12 e 13, relata-se um breve comentário sobre o que dados percentuais revelam sobre cada questão do questionário 02.

Na questão 01 desse questionário, os dados revelaram que o manuseio do experimento com o bloco de madeira revestido com lixa N° 60 e N° 120 provocou uma mudança significativa na origem do atrito. De acordo com os índices do Quadro 12 (questionário de concepções prévias), praticamente 70% dos discentes achavam que o atrito estava vinculado à resistência do ar ou à força aplicada para iniciar o movimento. Após a realização do experimento, a visão conceitual mudou completamente, ou seja, 87,5 % dos discentes observaram que a rugosidade das lixas influencia no aumento ou diminuição do atrito com a superfície. Como aponta Ausubel, a nova informação ancora-se no conhecimento prévio do aluno sobre aspereza da superfície, transformando-o em conceito científico, ou seja, que o atrito surge das interações e dos encaixes microscópicos entre as superfícies em contacto.

Na questão 02, o enunciado aborda qual tipo de força era responsável pelo impedimento do início do movimento quando a declividade do plano inclinado aumentou. O resultado foi bem acima do esperado, pois 84,4% responderam que a Força de Atrito Estático atuou no sentido contrário à tendência do movimento, evidenciando assim que os discentes compreenderam a diferença entre a Força de Atrito Estático, Cinético e, nessa situação, o atrito atua como uma força resistiva.

A questão 03 investiga a compreensão dos discentes sobre o que a força exercida pelos pesos das arruelas mede no exato instante em que o bloco inicia o movimento no plano

horizontal. Os resultados revelaram que 75% dos alunos associaram esse momento à Força de Atrito Cinético, um índice que diverge do gabarito esperado (Atrito Estático Máximo). Esta predominância do erro indica uma concepção alternativa comum: os estudantes tendem a associar o início do movimento diretamente ao regime cinético, ignorando o ponto de ruptura do equilíbrio estático. No entanto, é interessante notar que, enquanto o bloco permanecia em repouso, os discentes reconheceram corretamente que a intensidade da Força de Atrito era igual à força exercida pelas arruelas. Isso demonstra que eles compreendem o equilíbrio estático, mas falham em identificar o valor limite como sendo o ápice do Atrito Estático, e não o início do Cinético.

A questão 04 investigou a compreensão dos discentes sobre as variáveis das quais depende o coeficiente de atrito. Os resultados revelaram uma divisão significativa nas respostas: 40,8% dos estudantes identificaram corretamente que o coeficiente depende da natureza dos materiais em contato, como observado no uso de lixas de N° 60 e N° 120. Entretanto, uma parcela expressiva (34,4%) indicou que o coeficiente dependeria da força aplicada sobre o bloco. Esse dado sinaliza uma confusão conceitual persistente entre o coeficiente, que é uma característica intrínseca do par de superfícies, e a força de atrito que de fato varia com a intensidade da Força Normal ou externa aplicada. Essa percepção equivocada reforça a necessidade da intervenção experimental, permitindo ao aluno constatar que, embora a força necessária para mover o bloco mude conforme a quantidade de arruelas utilizadas no experimento, o valor do coeficiente de atrito permanece inalterado enquanto as superfícies forem as mesmas.

A questão 05 explora a diferenciação, em termos de intensidade, entre a Força de Atrito Estático Máximo e a Força de Atrito Cinético. Observou-se um desempenho altamente satisfatório, com 81,3% de acertos ao indicarem que a intensidade da força no regime estático é superior. Este resultado evidencia que a metodologia experimental permitiu uma constatação fenomenológica direta: os discentes perceberam que o bloco em repouso exigia uma quantidade maior de arruelas para atingir a iminência do movimento do que para manter-se em deslocamento uniforme. Assim, a contagem da quantidade de arruelas utilizadas nos experimentos serviu como evidência empírica para consolidar o conceito de que o coeficiente de atrito estático é maior que o cinético.

A questão 06 investigou as consequências da ausência de atrito em situações práticas, fundamentando-se nas observações realizadas durante a sequência experimental. O índice de acerto obtido foi de 65,5%, um resultado considerado satisfatório, porém com um crescimento moderado quando comparado ao desempenho no questionário 01 (59,4%). Essa

variação de apenas 6,1 pontos percentuais sugere que, embora a intervenção tenha reforçado a utilidade do atrito, uma parcela dos estudantes ainda demonstra dificuldade em transpor o fenômeno observado no laboratório para situações hipotéticas de ausência total de atrito. Este dado indica que a desconstrução de concepções intuitivas exige um tempo de maturação cognitiva maior, evidenciando que a percepção do atrito como resistência é tão enraizada que a ideia de sua ausência total ainda gera hesitação no julgamento físico dos discentes.

A questão 07 abordou sobre o que acontece com o ângulo mínimo necessário do plano inclinado se o bloco começasse a deslizar sobre uma superfície extremamente lisa, como o gelo. A análise gráfica mostra que 68,8% dos estudantes marcaram o gabarito, ou seja, que o ângulo diminuiria. Apesar desse resultado positivo, 21,9% assinalaram que aumentaria, pois o atrito seria menor, condizente com uma incorrência em relação ao objetivo do experimento realizado. Como a questão buscou avaliar se os estudantes correlacionavam a natureza das superfícies em contato com a variação da inclinação do plano, constata-se que o resultado foi bem favorável para essa percepção.

Já a questão 08 procura saber o que acontece com a Força de Atrito Estático Máximo quando se adiciona pesos sobre o bloco em contato com o plano horizontal. A análise desta questão revela uma fragmentação de respostas entre as alternativas A, B e C (correta), um fato que condiz com diversidade do processo de aprendizagem. Enquanto a alternativa C obteve uma adesão de 37,5%, observou-se que 40,6%, um percentual significativo dos alunos, optaram pela alternativa A, que enaltece a permanência do valor da Força de Atrito.

Embora a atividade prática no plano horizontal tenha permitido a visualização da necessidade de se colocar mais arruelas no gancho para mover o bloco com mais peso, a maioria não compreendeu que isso acarreta um aumento da Força Normal.

Sob a perspectiva de Ausubel, essa divergência de dados sugere que alguns estudantes realizaram uma aprendizagem mecânica da fórmula, sem a devida construção do conceito de Força Normal. Assim, a complexidade do tema necessita de mediações que foquem especificamente na decomposição de forças, como sugere Vygotsky ao tratar da transição do conhecimento espontâneo para o científico.

A questão 09 faz uma alusão à importância da ludicidade no processo de ensino-aprendizagem. Usando-se um carrinho de controle remoto se deslocando sobre uma folha transparente de PVC sobre lápis de cor, a percepção que as rodas empurraram a folha para trás e o carrinho foi empurrado para frente justifica bem o nome desse produto educacional, ou seja, 93,8% conseguiram identificar o par de ação-reação da Terceira Lei de Newton.

De acordo com John Dewey, a aprendizagem por meio da experimentação é

fundamental para a retenção do conhecimento. O conceito de que o atrito sempre age como obstáculo foi substituído por uma força motivadora, promovendo assim uma reestruturação dos subsunçores dos estudantes.

Sob a ótica de Vygotsky, o carrinho e a folha de PVC atuam como instrumentos mediadores que permitiram ao aluno a compreensão das Leis de Newton como sistema real e cotidiano.

Finalmente, a questão 10 trata da influência da área sobre o valor do coeficiente de Atrito Estático. Apesar de ser um erro intuitivo bastante frequente quando se ministra Força de Atrito no Ensino Médio, 65,6% dos discentes compreenderam que o coeficiente de atrito é igual para as duas faces de diferentes dimensões do bloco utilizado no experimento investigativo.

Esse resultado é particularmente relevante pois demonstra que a manipulação do aparato experimental foi bem-sucedida, pois permite ao aluno constatar qualitativamente e quantitativamente que alterando-se a área de contato do mesmo bloco com o plano, o coeficiente de atrito do material que revestiu o bloco não se altera.

De acordo com os preceitos de Ausubel, essa constatação prática serve como um organizador prévio essencial, desconstruindo o conhecimento espontâneo e ancorando a compreensão de que o coeficiente de atrito é uma propriedade da natureza dos materiais e não de sua geometria.

7.4 Avaliação do Produto Educacional

Após a realização da sequência didática investigativa, foi aplicado o questionário 03, com o intuito de avaliar a percepção dos estudantes quanto ao produto educacional. A Tabela 12 ilustra o resultado percentual por item assinalado de cada questão.

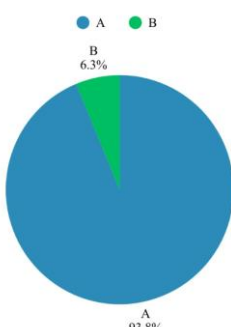
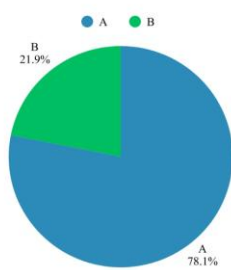
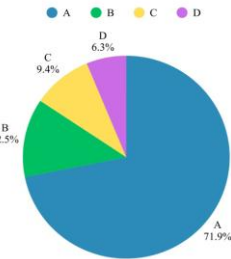
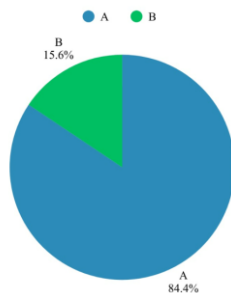
A partir da leitura dos gráficos, constata-se que as atividades experimentais foram fundamentais para a consolidação dos conceitos de Força de Atrito Estático e Cinético. Além disso, os resultados mostram que o uso de materiais do cotidiano e de fácil acesso despertam mais a curiosidade pelo conteúdo abordado.

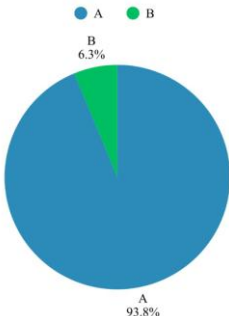
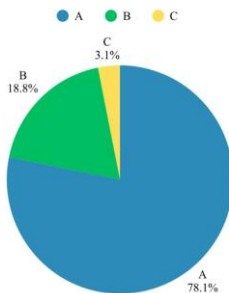
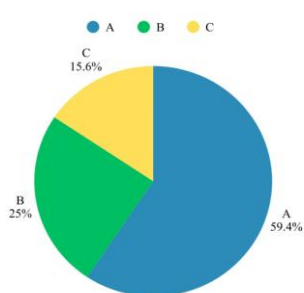
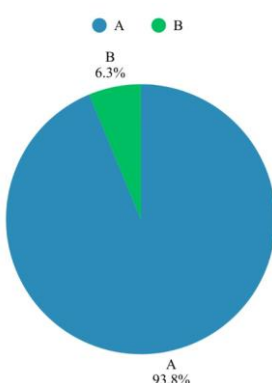
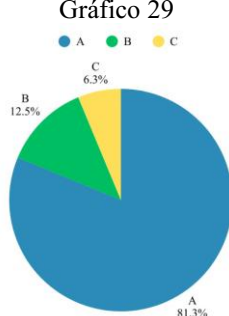
Quanto ao manuseio do kit experimental, os dados mostram que a maioria não encontrou dificuldade, apesar da repetição de alguns experimentos para obter-se resultados mais confiáveis. Essa autonomia no manuseio reforça a eficácia do aparato, permitindo que o foco do estudante permaneça na investigação do fenômeno físico. Assim, a repetição das medidas deixou de ser um entrave técnico para se tornar um exercício de rigor científico, consolidando a segurança dos discentes na manipulação de instrumentos de medição e na

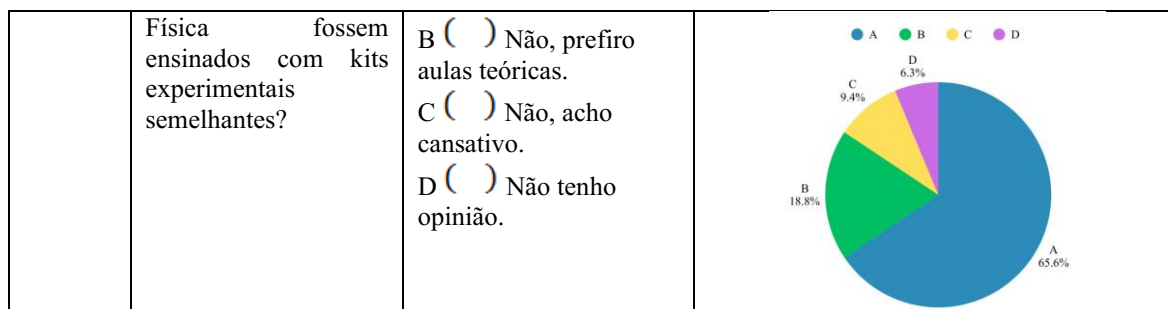
análise de incertezas experimentais.

Quadro 13 – Análise Quantitativa de cada item assinalado do Questionário 03

continua

Questão	Enunciado	Alternativas	Resultado percentual por item assinalado
01	Como você avalia a utilidade das atividades experimentais para o entendimento dos conceitos de Força de Atrito estático e cinético?	A () Muito útil. B () Útil. C () Pouco útil. D () Inútil.	Gráfico 21  <p>● A ● B</p> <p>B 6.3%</p> <p>A 93.8%</p>
02	O uso de materiais do cotidiano e de fácil acesso como bloco de madeira revestido com lixas, o plano horizontal e inclinado nas aulas de Física despertou mais seu interesse pelo conteúdo?	A () Sim, muito. B () Sim, um pouco. C () Não mudou meu interesse. D () Diminuiu meu interesse.	Gráfico 22  <p>● A ● B</p> <p>B 21.9%</p> <p>A 78.1%</p>
03	Que tipo de recurso você considera mais eficaz para aprender sobre as causas microscópicas do atrito?	A () Experimentos práticos. B () Vídeos. C () Aulas teóricas. D () Simuladores.	Gráfico 23  <p>● A ● B ● C ● D</p> <p>D 6.3%</p> <p>C 9.4%</p> <p>B 12.5%</p> <p>A 71.9%</p>
04	Você se sente mais confiante para resolver problemas de Física após realizar os experimentos propostos no produto educacional?	A () Muito mais confiante. B () Confiante. C () Não faz diferença. D () Menos confiante.	Gráfico 24  <p>● A ● B</p> <p>B 15.6%</p> <p>A 84.4%</p>
05	A atividade com o carrinho de controle remoto e a folha de PVC tornou a aula de Física mais interessante e motivadora?	A () Sim, muito. B () Sim, pouco. C () Indiferente. D () Não tenho opinião.	Gráfico 25

			
06	Você acredita que o kit (plano horizontal e inclinado) é de fácil manuseio para todos os alunos?	<p>A (<input type="checkbox"/>) Sim, totalmente.</p> <p>B (<input type="checkbox"/>) Sim, em parte.</p> <p>C (<input type="checkbox"/>) Pouco acessível.</p> <p>D (<input type="checkbox"/>) Não acessível.</p>	<p>Gráfico 26</p> 
07	O uso do transferidor acoplado ao aparato permitiu que você visualizasse com clareza a variação do ângulo necessária para o bloco começar a deslizar?	<p>A (<input type="checkbox"/>) Sim, totalmente.</p> <p>B (<input type="checkbox"/>) Sim, em parte.</p> <p>C (<input type="checkbox"/>) Tive dificuldade na leitura.</p> <p>D (<input type="checkbox"/>) Não consegui visualizar.</p>	<p>Gráfico 27</p> 
08	Qual sua opinião sobre a combinação de experimentos com o uso do sistema hidráulico (seringas)?	<p>A (<input type="checkbox"/>) Muito positiva.</p> <p>B (<input type="checkbox"/>) Positiva.</p> <p>C (<input type="checkbox"/>) Indiferente.</p> <p>D (<input type="checkbox"/>) Negativa.</p>	<p>Gráfico 28</p> 
09	Como as atividades investigativas impactaram sua motivação para estudar os conceitos de forças?	<p>A (<input type="checkbox"/>) Aumentaram muito.</p> <p>B (<input type="checkbox"/>) Aumentaram.</p> <p>C (<input type="checkbox"/>) Não impactaram.</p> <p>D (<input type="checkbox"/>) Diminuíram.</p>	<p>Gráfico 29</p> 
10	Você gostaria que outros conteúdos de	<p>A (<input type="checkbox"/>) Sim, com certeza.</p>	<p>Gráfico 30</p>



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Convém ressaltar que muitos discentes relataram que o sistema hidráulico utilizado no plano inclinado facilitou muito a visualização da variação do ângulo crítico, permitindo uma leitura clara do momento em que o Atrito Estático é rompido.

Uma parcela expressiva da turma afirmou sentir-se muito mais confiante para resolver problemas de Física após o contato com o kit experimental, conforme indica o gráfico da questão 04. Sendo assim, de modo geral, os resultados desse questionário validam a experimentação como um potente organizador prévio (Ausubel), que transforma a abstração das fórmulas em realidade tangível.

A atividade com o carrinho de controle remoto e a folha de PVC foi, estatisticamente, o momento de maior impacto motivador. O gráfico correspondente revela uma aprovação quase unânime, confirmando que o aspecto lúdico foi a chave para compreender que o atrito também age como uma força de propulsão.

Em suma, os dados apontam que o produto educacional: Atrito – O Paradoxo do Movimento é viável, de fácil manuseio e pedagogicamente eficiente. Ele cumpre o requisito primordial de oferecer uma solução educacional replicável, capaz de democratizar o acesso à experimentação científica de qualidade na escola pública brasileira.

7.5 Análise Comparativa e Superação de Conflitos Cognitivos

A fim de avaliar a eficácia do Produto Educacional: Atrito – O Paradoxo do Movimento na evolução conceitual dos estudantes, estabeleceu-se um cruzamento analítico entre as concepções prévias mapeadas no Questionário 01 (Diagnóstico) e as respostas consolidadas no Questionário 02 (Pós-intervenção). Essa abordagem quali-quantitativa permitiu identificar não apenas os índices de acertos, mas a efetiva superação dos conflitos cognitivos e das barreiras epistemológicas que caracterizavam o senso comum das turmas pesquisadas.

O Quadro 14 sintetiza de forma comparativa os principais eixos conceituais investigados,

confrontando as percepções intuitivas iniciais com a apropriação do conhecimento científico demonstrada após a mediação experimental.

Quadro 14 – Análise comparativa de resultados e evolução de conflitos cognitivos.

Eixo Conceitual investigado	Concepção Recorrente no Senso Comum (Questionário 01)	Evolução Conceitual e Percepção Científica (Questionário 02)	Referencial Teórico Evidenciado
Sentido da Força de Atrito	O atrito é interpretado exclusivamente como uma força resistiva (um vilão que apenas se opõe ao movimento).	Compreensão do atrito em seu caráter paradoxal: o atrito como força impulsora (essencial para o caminhar e para a tração do carrinho).	David Ausubel Conflito cognitivo gerado pelo organizador prévio lúdico (carrinho sobre o PVC).
Influência da Área de Contato	Crença generalizada de que a intensidade da força de atrito manifesta uma dependência direta em relação à área geométrica da superfície.	Reconhecimento prático da independência entre a força de atrito e a área de contato, validando a teoria clássica por meio dos ensaios com o bloco.	Lev Vygotsky Reconhecimento prático da independência entre a força de atrito e a área de contato, validando a teoria clássica por meio dos ensaios com o bloco.
Atrito Estático versus Atrito Cinético	Confusão ou incapacidade de diferenciar as duas manifestações, muitas vezes associando o repouso à ausência de forças de atrito.	Distinção clara entre o regime estático (e seu valor máximo na iminência do movimento) e o regime cinético (durante o deslizamento).	John Dewey Postura investigativa e reflexiva frente ao fenômeno físico observado concretamente.
O Papel da Força Normal	Dificuldade em associar a compressão entre as superfícies ao cálculo do atrito, encarando a equação como mera abstração.	Visualização prática da proporcionalidade entre a Força Normal e o Atrito, facilitada pelo controle milimétrico e estável no plano inclinado.	Letramento Científico Transição do modelo puramente matemático para a compreensão do fenômeno na prática.

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Conforme evidenciado no Quadro 14, o mapeamento comparativo aponta uma transição cognitiva robusta. Sob a perspectiva ausubeliana, a introdução das atividades investigativas funcionou como ancoradouro para que os novos conceitos fossem incorporados de maneira não arbitrária e substantiva à estrutura cognitiva dos discentes. O confronto direto entre o que os alunos previam intuitivamente (por exemplo, que o bloco em uma face maior sofreria mais atrito) e o resultado físico real obtido no aparato experimental foi essencial para a desconstrução das concepções espontâneas incompletas, consolidando um letramento científico genuíno.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação propõe a realização de uma sequência didática investigativa com o intuito de motivar e despertar, em estudantes do Ensino Médio, o estudo da Força de Atrito. Por meio de experimentos práticos e uma demonstração lúdica, buscou-se proporcionar uma compreensão interativa desse tipo de força que, muitas vezes é compreendida de forma limitada ou paradoxal no senso comum.

Por meio da aplicação do produto educacional: Atrito – O Paradoxo do Movimento, composto por aparatos experimentais de fácil acesso, uma demonstração lúdica e uma abordagem didática inovadora, é possível não apenas esclarecer conceitos teóricos sobre o atrito, mas engajar os alunos em um aprendizado ativo e significativo.

A aplicação desta sequência didática está alinhada aos alicerces de uma pesquisa de natureza quali quantitativa (mista) e intervencionista. A natureza qualitativa não se limita à observação de fenômenos, mas busca-se também confrontar as ideias intuitivas dos estudantes. Quanto à natureza quantitativa, coletam-se dados por meio da aplicação de três questionários (conhecimentos prévios, pós-experimentos e avaliação do produto educacional) cujos resultados são analisados estatisticamente para evidenciar a evolução da aprendizagem.

A análise dos dados coletados revela que a grande maioria dos alunos abandonou concepções espontâneas e incompletas para adotarem uma visão científica fundamentada. A superação da concepção de que o atrito apenas se opõe ao movimento é um grande ganho pedagógico, pois a demonstração lúdica com carrinho de controle remoto se movendo sobre uma folha de PVC motiva a compreensão de que a Força de Atrito é, nessa situação, impulsionadora. Através da mediação experimental, é possível constatar que a intensidade da Força de Atrito independe da área de contato, a distinção entre Atrito Estático e Cinético e a influência da Força Normal no cálculo da Força de Atrito, portanto deixam de ser abstrações matemáticas para se tornarem fenômenos compreendidos na prática.

Embora os resultados sejam altamente positivos, a fragmentação observada em questões específicas sobre a influência da Força Normal indica que o tempo dedicado à compreensão da proporcionalidade existente entre a Força Normal e a Força de Atrito pode ser expandido em aplicações futuras.

É oportuno acrescentar que, pela análise dos dados coletados da Avaliação do Produto Educacional (questionário 03), percebe-se que a maioria dos discentes indica o sistema hidráulico de seringas, usado no Plano Inclinado, como o fator de maior clareza para o entendimento do ângulo crítico. Esse dado quantitativo, cruzado com os relatos de empolgação

observados em sala, prova que a redução da abstração matemática em favor da visualização prática atenua a ansiedade dos estudantes frente à disciplina de Física.

Quanto às dificuldades vivenciadas durante a aplicação do produto educacional, convém citar o experimento realizado com o Plano Horizontal para se determinar o coeficiente de Atrito Cinético das lixas N°60 e N°120. Como esse tipo de atrito está presente quando um corpo desliza sobre uma superfície, foi necessário que o bloco de madeira usado no experimento adquirisse velocidade praticamente constante, tarefa que necessitou de cautela, muitas repetições e paciência por parte dos alunos e da mediação da professora.

A metodologia dessa sequência didática não é apenas embasada em um conjunto de atividades práticas, mas uma aplicação deliberada de teorias da aprendizagem que sustentam o Ensino Contemporâneo de Física.

Sob a ótica da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, o produto educacional cumpre seu papel ao identificar e utilizar os conhecimentos prévios dos alunos, mapeados no Questionário 01. Quanto aos experimentos, eles atuam como organizadores prévios, fornecendo uma ligação entre o senso comum e o conceito científico. A transformação observada na compreensão dos alunos indica que os novos conhecimentos são incorporados à estrutura cognitiva dos estudantes.

A dimensão social e mediadora da aprendizagem, proposta por Lev Vygotsky, foi verificada na intensa interação durante a aplicação dos experimentos. O kit experimental serve como o instrumento mediador, permitindo aos estudantes transitarem da sua Zona de Desenvolvimento Proximal para um nível de desenvolvimento mais científico. A empolgação e o debate entre as equipes evidenciam que a construção do conhecimento ocorre de forma coletiva e mediada.

Quanto a John Dewey, o engajamento e o entusiasmo demonstrados pelos alunos ratificam que a postura investigativa e ativa facilita a retenção do conteúdo e promoveu uma atitude científica de curiosidade, elementos essenciais para a formação de um pensamento crítico e autônomo.

Todo o desenvolvimento deste trabalho mostra a necessidade de uma mudança profunda na maneira como a Física, especialmente o estudo da Força de Atrito, deve ser apresentado aos alunos. Antes mesmo de serem introduzidas as fórmulas e os conceitos, seguindo o livro didático, acredita-se que deve ser mostrada a inserção do assunto no cotidiano e deve-se promover discussões em grupo a partir de temas transversais, de modo a trabalhar a interdisciplinaridade.

Conclui-se que o ensino de Física, quando apoiado em metodologias investigativas

e produtos educacionais que dialogam com o cotidiano e o lúdico, é capaz de promover um letramento científico real. Espera-se que este produto educacional possa servir como uma ferramenta útil para outros docentes e para a comunidade escolar em geral, reforçando que a ciência é, acima de tudo, uma construção acessível e fascinante.

Com o propósito de conferir continuidade a esta linha de pesquisa e superar as limitações operacionais e técnico-cronológicas identificadas ao longo da intervenção pedagógica, vislumbram-se as seguintes perspectivas futuras para este trabalho, projeta-se a expansão da carga horária dedicada especificamente ao estudo da proporcionalidade existente entre a Força Normal e a Força de Atrito em futuras replicações da sequência didática.

Também é oportuno inserir uma etapa intermediária de modelagem matemática elementar ou simulações computacionais interativas, visando consolidar a transição entre a visualização física proporcionada pelo sistema de seringas no plano inclinado e a formalização analítica da lei de Amontons-Coulomb, mitigando a fragmentação cognitiva observada em tópicos específicos.

Assim, a Força de Atrito explorada nesta dissertação deixa de ser apenas um conceito físico e passa a ser uma metáfora para o próprio processo de ensino: uma força que, embora encontre resistências, é o que permite o avanço, a aderência ao conhecimento e a constante evolução da educação científica.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, Beatriz; MÁXIMO, Antônio. **Curso de Física**. São Paulo: Scipione, 2011. v. 1.
- ARONS, Arnold B. Um Programa de Trabalho para o Ensino Introdutório de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 27-41, 1999.
- BARBOSA, Raquel Moraes de; BATISTA, Maria Cecília. A escola como promotora de zonas de desenvolvimento proximal. **Cadernos de Pesquisa**, São Paulo, n. 49, p. 49-56, 1984.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/a-base>. Acesso em: 10 jan. 2026.
- CASTRO, Armando A. Monteiro. **Álgebra linear e vetores**. Taubaté: Unitau, 2022.
- CASTRO, Leidiane da Luz. **A Teoria de Vygotsky aplicada ao Ensino de Física**. Anápolis: [s. n.], 2016.
- CHALMERS, Alan. **A Fabricação da Ciência**. São Paulo: Editora da Unesp, 1994.
- CRESWELL, John W. **Projeto de Pesquisa: Métodos Qualitativo, Quantitativo e Misto**. 3. ed. Porto Alegre: Penso, 2012.
- CURIE, Marie. **Pierre Curie**. New York: Macmillan, 1923.
- DARROZ, Luiz Marcelo; ROSA, Cleci Werner da; GHIGGI, Gláucia Luiza de Oliveira. O ensino de Física e a teoria da aprendizagem significativa: uma proposta metodológica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 34, n. 1, p. 19-35, 2017.
- DEWEY, John. **Como Pensamos: a relação do pensamento reflexivo com o processo educativo**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1959.
- DIAS, Fernanda Aparecida Silva. Como é que o aluno aprende? **Revista Redin**, v. 7, n. 1, 2018.
- ESTEVES, Marcelo Castanheira; SILVA, Hilda Aparecida da. A influência da utilização de materiais de baixo custo no ensino da Força de Atrito. **Caderno de Física da UEFS**, Feira de Santana, v. 2, n. 2, p. 1-13, 2004.
- FAPESP. Da Vinci e a fricção. **Revista Pesquisa Fapesp**, 2021. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/da-vinci-e-a-friccao/>. Acesso em: 03 out. 2025.
- FERNANDES, Josué de Paula; AUTH, Milton Antônio. Atividades experimentais no ensino de física: uma análise de pesquisas brasileiras. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 8, n. 1, p. 55-73, 2015.
- FERREIRA, Nailda Marinho da Costa; FERREIRA, Marcus Vinicius Tovar. **Metodologias**

ativas no ensino de física: desafios e possibilidades. Rio de Janeiro: Interciência, 2021.

GALILEI, Galileu. **Discursos e Demonstrações Matemáticas sobre Duas Novas Ciências** (1638). Tradução de L. Mariconda e P. R. Mariconda. São Paulo: Abril Cultural, 2000. (Coleção Os Pensadores)

GINGERICH, Owen. O Experimento do Plano Inclinado de Galileu. **Scientific American Brasil**, São Paulo, Ed. Especial, n. 14, 2005.

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. Tradução de Trieste Freire Ricci e Maria Helena Gravina. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

JESUS, Vitor Luiz Bastos de; SASAKI, Douglas Gonçalves Gomes. Vídeo-análise de um experimento de baixo custo sobre atrito cinético e atrito de rolamento. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, 3503, 2014.

JOÃO PAULO, Tiago. **Galileu Galilei e a experimentação através de uma sequência didática com enfoque investigativo**. 2018. 104 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

KELLER, Frederick J.; GETTYS, W. Edward; SKOVE, Malcolm J. **Física**. Tradução de Alfredo Alves de Farias. São Paulo: Makron Books, 1997. v. 1.

KOYRÉ, Alexandre. **Estudos de História do Pensamento Científico**. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2012.

LIMA, Erivaldo Douglas Santos de. **Relação entre força de atrito e área de contato: uma proposta de aplicação da aprendizagem baseada em problemas utilizando o *software tracker* como recurso didático**. 2021. 78 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

LIMA, Francisca Verlênia Silva. **Abordagem dos elementos conceituais da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) de Vygotsky**. [S. l.]: [s.n.], 2020.

MONTEIRO, Marco Aurélio Alvarenga. O professor: mediador. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, 2012. Disponível em: academia.edu. Acesso em: 28 set. 2025.

MONTEIRO, Marco Aurélio Alvarenga; MONTEIRO, Isabel Cristina de Castro; GASPAR, Alberto. A leitura e a escrita no ensino de física e a interpretação de textos de alunos do ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, p. 1-10, 2012.

MOREIRA, Marco Antônio. O professor: mediador. *In*: MOREIRA, Marco Antônio; MASINI, Elcie Aparecida Fortes Salzano (Orgs.). **Aprendizagem Significativa: a Teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1999. p. 111.

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias de Aprendizagem**. 2. ed. São Paulo: EPU, 2011.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica**. São Paulo: Edgard Blucher, 2002. v. 1.

OLIVEIRA, Ricardo Ferreira de. **Desenvolvimento de uma sequência didática para o estudo das forças de atrito: do sensorial ao fenomenológico**. 2019. 112 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

PLACIDES, Fernando Mariano; COSTA, Jose Wilson da. John Dewey e a aprendizagem como experiência. **Imagens da Educação**, [S.l.], 2015.

SCHEREIBER, Denise Jacqueline. **Estudo da força de atrito com o uso do software tracker**. 2021. 142 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Campus Araranguá, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2021.

SÉRÉ, Marie-Geneviève; COELHO, Suzana Maria; NUNES, Antônio Dias. **Notas sobre o ensino da física**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 23, n. 1, p. 122-129, 2001.

SILVA, Álison Pereira da. Relatos de Sala de Aula. **A Física na Escola**, v. 22, 2024. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/fne/>. Acesso em: 3 out. 2025.

SILVA, Sani de Carvalho Rutz da; SCHIRLO, Ana Cristina. **Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel: reflexões para o ensino de física ante a nova realidade social**. [S.l.]: [s.n.], 2014.

SILVEIRA, Fernando Lang da. A resistência ao rolamento. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 1304, 2011.

SIQUEIRA, Joice Soares; GOI, Mara Elisângela Jappe. A experimentação no ensino de química: uma análise a partir das ideias de John Dewey. **Revista Insignare Scientia**, v. 5, n. 4, p. 1-20, 2022.

SOUZA, Marinaldo Pires de. **Uma proposta para o ensino de força de atrito e resistência do ar utilizando o lúdico e a experimentação**. 2017. 85 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017.

SOUZA, Solange Jobim e. Pensamento e Linguagem: uma nova leitura. *In*: VYGOTSKY, Lev Semenovich. **Pensamento e Linguagem**. 5. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2013. p. 13.

STORCH, Igor. **Ensino de atrito com abordagem de ensino interativo: uma proposta para ir além de propostas puramente centradas no aluno ou no professor**. 2021. 112 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Cariacica, 2021.

TIPLER, Paul Allen. **Física para cientistas e engenheiros**. Tradução e revisão técnica de Paulo Machado Mors. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

ZANELLA, Andrea Vieira. **Vygotsky: contexto, contribuições à psicologia e o conceito de mediação**. Itajaí: Editora da Univali, 2001.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO 01



PRODUTO EDUCACIONAL – ATRITO: O PARADOXO DO MOVIMENTO.

QUESTIONÁRIO 01: Avaliação Diagnóstica dos Conhecimentos Prévios e Percepções sobre o Estudo da Força de Atrito.

Este questionário, que faz parte do produto educacional denominado: Atrito, o Paradoxo do Movimento, tem como objetivo coletar informações sobre o conhecimento prévio e as percepções dos estudantes em relação à força de atrito, um fenômeno físico presente em diversas situações do nosso dia a dia. As questões abordam desde conceitos básicos até aplicações práticas, buscando compreender como o aprendiz relaciona a teoria com as experiências cotidianas antes da aplicação da sequência didática.

As respostas nos ajudarão a desenvolver estratégias de ensino mais eficazes e aprimorar o aprendizado deste importante conceito da Física. A participação é voluntária e as respostas serão tratadas de forma confidencial.

01. Quando um objeto desliza sobre uma superfície, qual a principal causa da força de atrito?

- A () A gravidade puxando o objeto para baixo.
- B () A resistência do ar contra o movimento.
- C () As irregularidades entre as superfícies em contato.
- D () A força aplicada para iniciar o movimento.

02. Em qual das situações abaixo a força de atrito é útil e necessária?

- A () Patinar no gelo com velocidade constante.
- B () Deslizar em um tobogã.
- C () Acender um fósforo.
- D () Empurrar um móvel pesado.

03. O que acontece com a intensidade da força de atrito quando aumentamos a força que pressiona um objeto contra uma superfície?

- A () Diminui.
- B () Permanece igual.
- C () Aumenta.
- D () Depende do tipo de material.

04. Qual a diferença entre atrito estático e atrito cinético?

- A () Atrito estático ocorre quando o objeto está em movimento e cinético quando está em repouso.
B () Atrito estático é sempre maior que o atrito cinético.
C () Atrito cinético é sempre maior que o atrito estático.
D () Não há diferença entre eles.

05. Uma caixa está em repouso sobre uma superfície horizontal. Qual força impede que ela se mova caso alguém tente empurrá-la?

- A () Força peso.
B () Força normal.
C () Força de atrito estático.
D () Força de atrito cinético.

06. Quando um carro freia bruscamente, o que causa a diminuição da velocidade?

- A () A força do motor.
B () A força de atrito entre os pneus e o asfalto.
C () A inércia do carro.
D () A força da gravidade.

07. Em qual superfície é mais fácil empurrar um objeto pesado?

- A () Asfalto rugoso.
B () Carpete.
C () Gelo.
D () Concreto seco.

08. O coeficiente de atrito depende

- A () da área de contato entre as superfícies.
B () da velocidade do objeto.
C () do material das superfícies em contato.
D () da força aplicada sobre o objeto.

09. Um livro está em repouso sobre uma mesa inclinada. Qual força impede que ele deslize para baixo?

- A () A força peso.
B () A força normal.
C () A força de atrito estático.
D () A força de atrito cinético.

10. Qual a consequência da ausência de atrito entre os nossos pés e o chão ao caminharmos?

- A () Conseguiríamos andar com mais facilidade.

- B () Seria impossível andar.
- C () Andaríamos mais rápido.
- D () Andaríamos mais devagar.

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO 02



PRODUTO EDUCACIONAL – ATRITO: O PARADOXO DO MOVIMENTO.

Questionário Avaliativo 02: Pós-Experimentos

Este questionário tem por objetivo avaliar a eficácia do produto educacional: *Atrito, o Paradoxo do Movimento*, na consolidação dos conceitos de Força de Atrito, verificando a superação das concepções prévias e a compreensão da relação de proporcionalidade entre Força de Atrito e a Força Normal (N), bem como a correta distinção entre atrito estático e cinético e comparar os valores dos coeficientes de atrito em diversos procedimentos experimentais.

1. Nos experimentos, as lixas (Nº 60 e Nº 120) coladas no bloco de madeira no plano horizontal serviram para

- A () diminuir a massa do bloco.
- B () aumentar o atrito entre o bloco e a superfície.
- C () alterar a área de contato do bloco com a superfície.
- D () deixar a superfície do bloco mais lisa.

2. Mesmo com o aumento gradual do plano inclinado, o bloco de madeira permanece em repouso, prestes a deslizar.

Qual das forças listadas é responsável por impedir o início do movimento?

- A() Força de Atrito cinético.
- B() Força normal, que atua perpendicularmente à superfície do plano.
- C() Força de atrito estático, que atua no sentido contrário à tendência de movimento.
- D() Força peso, que atua verticalmente para baixo.

3. No experimento do plano horizontal, o que a força exercida pelo gancho com os pesos das arruelas mede no exato instante em que o bloco começava a se mover?

- A() A força normal.
- B() A força de atrito estático máximo.
- C() A força de atrito cinético.
- D() A força peso do bloco.

4. Com base nas suas observações nos experimentos, o coeficiente de atrito depende da(o)

- A() peso do bloco.
- B() velocidade com que o bloco se move.
- C() material das superfícies em contato, como as lixas.
- D() força aplicada sobre o bloco.

5. Qual a principal diferença que você identificou entre a força de atrito estático e a de atrito cinético com base nos experimentos?

- A() A força de atrito estático máxima é maior que a força de atrito cinético.
- B() A força de atrito estático é sempre menor que a força de atrito cinético.
- C() As duas forças são iguais.
- D() A força de atrito cinético está sempre presente quando um corpo está em contato com uma superfície.

6. Qual seria a consequência da ausência de atrito, com base no que você viu nos experimentos?

- A() Conseguiríamos andar com mais facilidade.
- B() Seria impossível andar ou segurar objetos.
- C() Andaríamos mais rápido.
- D() Andaríamos mais devagar.

7. Se a superfície do plano inclinado fosse coberta por um material extremamente liso, como o gelo, o que aconteceria com o ângulo mínimo necessário para o bloco começar a deslizar?

- A() Aumentaria, pois o atrito seria menor.
- B() Diminuiria, pois o atrito seria menor.

- C() Permaneceria o mesmo.
D() Aumentaria, pois o peso do bloco seria maior.

8. Durante o experimento no plano horizontal, o que aconteceu com a Força de Atrito Estático Máxima quando você adicionou pesos sobre o bloco de madeira?

- A() A força de atrito permaneceu a mesma, pois o material da superfície não mudou.
B() Diminuiu, pois o bloco estava mais pesado.
C() Aumentou, pois o peso adicional aumentou a Força Normal (N) exercida pela superfície.
D() Aumentou apenas se o coeficiente de atrito também aumentasse.

9. Na demonstração lúdica do movimento do carrinho de controle remoto, a Força de Atrito entre o carrinho e a folha de PVC

- A() agiu como um freio, impedindo o movimento do carrinho.
B() diminui a velocidade do carrinho e da folha de PVC.
C() permitiu que as rodas "empurrassem" a folha de PVC para trás, e a folha de PVC empurrasse o carrinho para a frente.
D() não havia força de atrito entre o carrinho e a folha de PVC.

10. Durante o experimento da influência da área sobre o valor do coeficiente de atrito estático, qual foi a conclusão principal quando a área de contato com o plano foi alterada?

- A() O coeficiente de atrito foi igual para as duas faces (A e B), pois o coeficiente depende apenas do material.
B() O coeficiente de atrito estático foi maior na face B (menor área), pois a pressão exercida sobre a superfície aumentou.
C() O coeficiente de atrito estático foi maior na face A (maior área), pois houve mais contato entre as superfícies.
D() A força de atrito mudou, mas o coeficiente de atrito estático permaneceu constante.

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO 03



Questionário 03 – Avaliação do Produto Educacional

O objetivo deste questionário é avaliar o feedback da aplicação da sequência didática investigativa, analisando a metodologia experimental, o uso de materiais de fácil acesso e a eficácia das atividades práticas na compreensão do estudo da Força de Atrito. Os dados obtidos subsidiarão a análise qualitativa e quantitativa da viabilidade do Produto Educacional: Atrito – O Paradoxo do Movimento.

01. Como você avalia a utilidade das atividades experimentais para o entendimento dos conceitos de Força de Atrito estático e cinético?

- A () Muito útil.
- B () Útil.
- C () Pouco útil.
- D () Inútil.

02. O uso de materiais do cotidiano e de fácil acesso como bloco de madeira revestido com lixas, o plano horizontal e inclinado nas aulas de Física despertou mais seu interesse pelo conteúdo?

- A () Sim, muito.
- B () Sim, um pouco.
- C () Não mudou meu interesse.
- D () Diminuiu meu interesse.

03. Que tipo de recurso você considera mais eficaz para aprender sobre as causas microscópicas do atrito?

- A () Experimentos práticos.
- B () Vídeos.
- C () Aulas teóricas.
- D () Simuladores.

04. Você se sente mais confiante para resolver problemas de Física após realizar os

experimentos propostos no produto educacional?

- A () Muito mais confiante.
- B () Confiante.
- C () Não faz diferença.
- D () Menos confiante.

05. A atividade com o carrinho de controle remoto e a folha de PVC tornou a aula de Física mais interessante e motivadora?

- A () Sim, muito.
- B () Sim, pouco.
- C () Indiferente.
- D () Não tenho opinião.

06. Você acredita que o kit (plano horizontal e inclinado) é de fácil manuseio para todos os alunos?

- A () Sim, totalmente.
- B () Sim, em parte.
- C () Pouco acessível.
- D () Não acessível.

07. O uso do transferidor acoplado ao aparato permitiu que você visualizasse com clareza a variação do ângulo necessária para o bloco começar a deslizar?

- A () Sim, totalmente.
- B () Sim, em parte.
- C () Tive dificuldade na leitura.
- D () Não consegui visualizar.

08. Qual sua opinião sobre a combinação de experimentos com o uso do sistema hidráulico (seringas)?

- A () Muito positiva.
- B () Positiva.
- C () Indiferente.
- D () Negativa.

09. Como as atividades investigativas impactaram sua motivação para estudar os conceitos de forças?

- A () Aumentaram muito.
- B () Aumentaram.
- C () Não impactaram.
- D () Diminuíram.

10. Você gostaria que outros conteúdos de Física fossem ensinados com kits experimentais

semelhantes?

- A () Sim, com certeza.
- B () Não, prefiro aulas teóricas.
- C () Não, acho cansativo.
- D () Não tenho opinião.

APÊNDICE D – PRODUTO EDUCACIONAL: ATRITO – O PARADOXO DO MOVIMENTO





UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 43

Ana Claudia Barbosa Salgado

PRODUTO EDUCACIONAL

ATRITO – O PARADOXO DO MOVIMENTO

Fortaleza
2026

APRESENTAÇÃO

Este produto educacional denominado: Atrito – O Paradoxo do Movimento, é parte integrante da dissertação intitulada Investigação da Força de Atrito: uma Sequência Didática para a Evolução dos Conceitos de Atrito Estático e Cinético, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), polo 43 – Universidade Federal do Ceará (UFC).

O objetivo deste produto educacional é promover uma abordagem investigativa e prática para o ensino da Força de Atrito, integrando conceitos teóricos à experimentação de baixo custo e fácil acesso. A proposta busca romper com a visão puramente abstrata da Física, permitindo que o estudante manipule variáveis e observe fenômenos através de um aparato experimental acessível e de fácil manuseio.

O material está estruturado em uma sequência lógica composta por quatro experimentos investigativos e uma demonstração lúdica. O material é projetado para o estudo da Força de Atrito no Ensino Médio, com o intuito de oferecer um roteiro no qual o estudante deixe de ser um mero espectador e passe a atuar como um investigador ativo, capaz de levantar hipóteses e testá-las diretamente no aparato experimental.

O kit experimental utiliza um plano horizontal e outro inclinado, dotado de um sistema de elevação hidráulico. As atividades permitem a análise comparativa de diferentes superfícies e granulações, a determinação do ângulo crítico e a distinção fundamental entre o Atrito Estático e Cinético.

Para consolidar a compreensão sobre a natureza motora da Força de Atrito, o roteiro inclui uma atividade com um carrinho de controle remoto. Esta etapa é essencial para desconstruir o senso comum de que o atrito atua apenas como resistência, revelando seu papel indispensável na propulsão e no movimento cotidiano.

O produto educacional, testado em sala de aula, demonstra que, ao reduzirmos a ansiedade matemática em favor da visualização prática, o engajamento dos alunos aumenta significativamente. Que este guia possa ser um ponto de partida para discussões ricas e para um ensino de Física mais fascinante e acessível nas escolas.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

1 INTRODUÇÃO

Este produto educacional é desenvolvido para proporcionar metodologias alternativas ao ensino tradicional, facilitando a compreensão de fenômenos abstratos por meio de um aparato experimental e uma demonstração lúdica. O intuito não é simplesmente realizar experimentos, colher dados ou fazer cálculos, mas, sim, dialogar com o estudante, estimulando a autonomia e o pensamento crítico.

1.1 Produto Educacional: Atrito – O Paradoxo do Movimento

O título, Atrito – O Paradoxo do Movimento, surgiu da necessidade de confrontar a concepção espontânea de que o atrito é sempre uma força de resistência. Conforme aponta Pacca (1988), esse é um dos conceitos onde as teorias implícitas dos alunos são mais resilientes. Ao denominá-lo como um paradoxo, o produto propõe uma mudança de perspectiva: o atrito deixa de ser apenas o agente que dissipa energia para ser compreendido como o agente essencial que possibilita a propulsão e a caminhada, integrando a visão microscópica das superfícies com a dinâmica do movimento.

1.2 A Experimentação e a BNCC

A elaboração deste produto alinha-se às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), especialmente no que tange à competência de "Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações que melhorem a qualidade de vida e o meio ambiente" (Brasil, 2018, p. 472).

A BNCC enfatiza que o ensino de Ciências da Natureza deve priorizar a investigação científica como um processo que envolve a resolução de problemas, a análise de evidências e a elaboração de argumentos. Nesse sentido, a experimentação aqui proposta não é meramente ilustrativa; ela é o veículo para que o estudante desenvolva o pensamento crítico e a capacidade de abstração, transformando a sala de aula em um espaço de construção ativa do saber. Ao manipular o kit hidráulico e observar o "paradoxo" do atrito motor, o aluno é estimulado a exercer a curiosidade intelectual e a recorrer à abordagem própria das ciências, conforme preconiza o documento normativo.

2 ORIENTAÇÕES PARA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Para que a proposta atinja os objetivos pedagógicos, estruturou-se uma sequência lógica dividida em etapas e uma dinâmica de sala de aula que privilegia a colaboração.

2.1 Composição do Produto Educacional

O produto está organizado em quatro etapas fundamentais, que permitem acompanhar a evolução do aprendizado do início ao fim da intervenção. O Quadro 1 mostra as etapas, onde cada uma tem um objetivo específico.

Quadro 1 – Composição do Produto Educacional

Etapa I – Questionário 01	Avaliação diagnóstica dos conhecimentos prévios e percepções sobre o estudo da Força de Atrito.
Etapa II – Roteiro de Demonstrações	Roteiro que orienta os alunos e o professor durante as atividades práticas, estruturado para instigar o levantamento de hipóteses.
Etapa III – Questionário 02	Avaliação diagnóstica que permite monitorar a evolução dos discentes.
Etapa IV – Questionário 03	Avaliação do Produto Educacional.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Para facilitar o acesso e a aplicabilidade desse produto por outros docentes, as versões dos questionários 01, 02 e 03 estão disponíveis para consulta nos Apêndices A, B e C.

2.2 Dinâmica de Trabalho em Equipe

Com intuito de potencializar a interação dos discentes, a troca de saberes e até mesmo facilitar a execução das tarefas do Roteiro de Demonstrações, recomenda-se a organização dos estudantes em equipes. Essa estratégia também permite que o pensamento crítico e a formulação de hipóteses ocorram de forma colaborativa. Quando se trabalha em grupo, os alunos são incentivados a verbalizar suas concepções prévias e a confrontá-las com as observações experimentais dos colegas, o que enriquece o processo de aprendizagem significativa e favorece a superação do paradoxo proposto pelo próprio nome desse produto

educacional.

2.3 Cronograma de Aplicação do Produto Educacional

O objetivo do cronograma é auxiliar o docente no planejamento e na execução das atividades que compõem o Produto Educacional: Atrito, O Paradoxo do Movimento. O Quadro 2 apresenta uma sugestão da quantidade de aulas necessárias para que as tarefas sejam realizadas com tempo suficiente para a preparação dos discentes. Vale acrescentar que a duração de cada etapa tem caráter flexível, pois o docente tem autonomia para ajustar o engajamento da turma e as dúvidas que vão surgir durante aplicação desse produto. Sabendo-se que uma aula dura 50 minutos, o tempo estimado para executar cada tarefa é calculado pelo número de aulas, já que essa linguagem é mais familiar na comunidade escolar.

Quadro 2 – Cronograma do Produto Educacional

Etapa	Atividade	Metodologia	Tempo estimado
I	Aplicação do Questionário 01	Cada discente responde seu questionário de acordo com os conhecimentos prévios	01 Aula = 50 min
II	Aplicação dos Experimentos 1 e 2	Manipulação do aparato. A turma é dividida em equipes	02 Aulas = 100 min
II	Aplicação dos Experimentos 3 e 4	Manipulação do aparato. A turma é dividida em equipes	02 Aulas = 100 min
II	Demonstração lúdica	Atividade com o carrinho de controle remoto	01 Aula = 50 min
III	Aplicação do Questionário 02 (pós-experimentos)	Cada discente responde seu questionário	01 Aula = 50 min
III	Discussão sobre os experimentos e questionários	Roda de conversa	02 Aulas = 100 min
IV	Aplicação do Questionário 03 (avaliação do produto)	Cada discente responde seu questionário	01 Aula = 50 min

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

2.4 Perfil da Turma e Aplicação

A aplicação do Produto Educacional: Atrito – O Paradoxo do Movimento aconteceu em uma escola estadual de Fortaleza, Professora Maria Gonçalves, com a participação de 32 alunos da 1ª série do Ensino Médio do turno da tarde. À época da aplicação do produto, setembro e outubro de 2025, a escola era Regime Regular. Nesse novo ano letivo, 2026, passou para Regime de Tempo Integral.

A Figura 1 mostra a entrada da escola onde o produto foi aplicado.

Figura 1 – Entrada da EEMTI Professora Maria Gonçalves



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Durante a experimentação do produto educacional, a turma apresentou um perfil de engajamento e colaboração, demonstrando protagonismo durante as atividades experimentais e disposição na realização das etapas avaliativas. O clima das aulas foi marcado pela interatividade, com os estudantes respondendo prontamente aos instrumentos de coleta de dados. Contudo, observou-se que, apesar do comportamento ativo, a turma apresentou dificuldades no processo de aprendizagem de alguns tópicos relacionados ao estudo da Força de Atrito.

Os Quadros 3 e 4 apresentam os registros fotográficos de alguns momentos da intervenção, nos quais é possível notar a transição do manuseio técnico dos equipamentos para a discussão reflexiva sobre os fenômenos observados.

A aplicação do produto educacional ocorreu de forma itinerante, alternando entre o laboratório de ciências e a sala de aula regular. Embora o laboratório seja espaço mais indicado para realização de experimentos e foco investigativo, a realização dos experimentos em sala de aula prova que o rigor científico não está condicionado a um espaço físico específico. Essa flexibilidade assegura que o docente tenha autonomia para promover o ensino de Física experimental em qualquer contexto escolar. Ao levar os experimentos para a sala comum, validou-se que o aparato, construído com materiais de baixo custo e fácil acesso, mantém sua precisão e eficiência mesmo em ambientes com infraestrutura limitada.

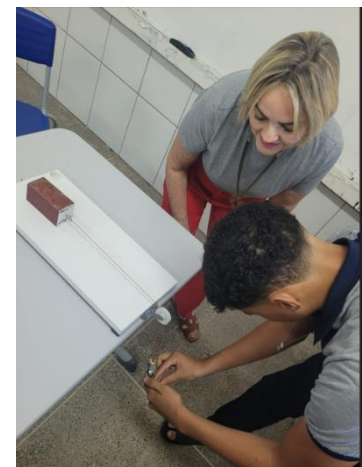
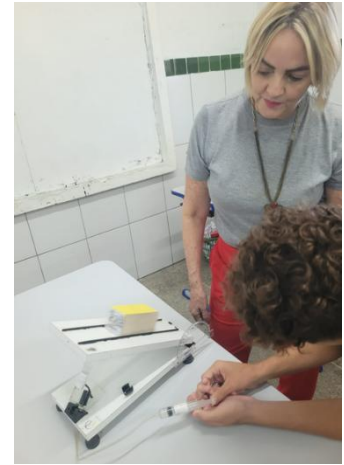
Quadro 3 – Registros da Aplicação da Sequência Didática



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Quando o docente utiliza aparatos acessíveis e de baixo custo, ele desmistifica a Física, retirando-a de um lugar de ciência intocável para torná-la algo palpável e compreensível. Assim, a experimentação torna-se uma ferramenta de inclusão, capaz de despertar vocações e garantir que o aluno desperte para o letramento científico.

Quadro 4 – Registros da Aplicação da Sequência Didática



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Para acompanhar a evolução desse aprendizado, os três questionários foram aplicados em momentos distintos, conforme consta no cronograma do produto educacional apresentado no Quadro 2. O primeiro atuou como avaliação diagnóstica, o segundo ocorreu logo após a intervenção dos experimentos para verificar a retenção dos novos conhecimentos e o terceiro para avaliar a eficácia do produto educacional. Essa estrutura avaliativa permitiu não apenas a mensuração de acertos e erros, mas, sobretudo, o acompanhamento da reestruturação conceitual vivenciada pelos discentes.

3 ROTEIRO DAS DEMONSTRAÇÕES

O presente roteiro tem como objetivo demonstrar o comportamento da Força de Atrito, especialmente em contextos envolvendo planos Horizontal e Inclinado. Busca-se também identificar as concepções dos aprendizes sobre Atrito Estático e Cinético, os fatores que influenciam a Força de Atrito, a relação entre a Força de Atrito e o movimento de objetos em diferentes inclinações e entender a importância desse tipo de força, já que graças a ela pode-se andar, correr e parar, escrever no papel, pintar, gerar fogo através do atrito entre o palito e a caixa de fósforos, segurar os objetos e muito mais.

Ao longo das atividades inseridas neste roteiro, os alunos têm a oportunidade de manipular os experimentos utilizando um Plano Horizontal e um Plano Inclinado, construídos com materiais de baixo custo e de fácil acesso. Os blocos de madeira utilizados nos experimentos possuem faces revestidas com diferentes materiais, como PVC, lixas, tecido, EVA e papel, permitindo a comparação de como as superfícies influenciam a Força de Atrito.

Para compreender o comportamento da força de atrito, é crucial avaliar as características das superfícies em contato entre os blocos e os planos. Nos experimentos utiliza-se lixas com diferentes numerações, como N°40 (lixa para ferro), N° 60, N° 120 e N° 220. A numeração de uma lixa se refere à granulação, ou seja, à densidade dos grãos abrasivos por polegada quadrada.

Uma lixa de menor número, como a N° 60, possui grãos maiores e mais espaçados, resultando em uma superfície mais áspera e rugosa. Já uma lixa de maior número, como a N° 120, tem grãos menores e mais próximos, tornando a superfície mais fina e menos rugosa.

Essa diferença na rugosidade é fundamental para o estudo, pois a Força de Atrito é gerada justamente pelas irregularidades microscópicas das superfícies em contato. Ao usar lixas de diferentes numerações, os alunos podem observar na prática como a textura dos materiais afeta diretamente a intensidade da Força de Atrito e os coeficientes de atrito estático e cinético.

O roteiro de demonstrações é um guia metodológico focado na abordagem lúdico-experimental da Força de Atrito. O documento contém orientações detalhadas para a condução de demonstrações práticas nos planos Horizontal e Inclinado, enfatizando a observação qualitativa dos fenômenos, a distinção entre os tipos de atrito (Estático, Cinético) e a identificação dos fatores que influenciam essa força (como os materiais e a Força Normal).

3.1 Objetivos

Demonstrar o comportamento da Força de Atrito sobre os corpos no Plano Horizontal e no Plano Inclinado.

Determinar os coeficientes de Atrito Estático e Cinético nos planos Horizontal e Inclinado.

Investigar a influência da intensidade da Força Normal no Coeficiente de Atrito Estático.

Investigar a influência da área de contato no coeficiente de Atrito Estático.

3.2 Materiais

A seleção dos materiais para a composição deste produto prioriza a acessibilidade e a replicabilidade. Opta-se pela utilização de itens de baixo custo e fácil aquisição, como madeira (MDF), seringas descartáveis e revestimentos comuns de papelaria e construção. Essa escolha visa democratizar a experimentação científica, provando que a precisão no estudo da Física não depende de laboratórios sofisticados, mas, sim, de um design didático cuidadoso.

- Bloco 1 de madeira utilizado no Plano Horizontal liso: massa 259,0 g, peso 2,54 N, com as faces revestidas com materiais diferentes: lixa N° 60 e lixa N° 120.

- Bloco 2 de madeira utilizado no Plano Inclinado: massa 264,0 g, peso 2,59 N, com as quatro faces revestidas com materiais diferentes (lixa para ferro N°40, EVA, papel e tecido).

- Bloco 3 de madeira utilizado no Plano Horizontal liso para testar a influência da Força Normal no coeficiente de Atrito Estático do material: massa 252,0 g, peso 2,47 N.

- Bloco 4 de madeira utilizado no Plano Horizontal liso para testar a influência da área no cálculo do coeficiente de Atrito de Estático do material: massa 124,0 g, peso 1,21 N, com as faces revestidas de lixas N° 120 e N° 220.

- Um Plano Horizontal liso
- Um Plano Inclinado com diversas inclinações.
- Arruelas: tipo 1, massa 11,0 g; tipo 2, massa 5,8 g e tipo 3, massa 20,0 g.
- Três Ganchos com massas: 10,5 g; 9,5g e 7,3g.
- Ganchos reservas com massa (cada): 2,7 g.
- Três Ganchos com massas: 10,5 g; 9,5g e 7,3g.
- Ganchos reservas com massa (cada): 2,7 g.

A Figura 2 ilustra os quatro blocos utilizados no kit experimental.

Figura 2 – Blocos utilizados nos experimentos



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

As Figuras 03 e 04 mostram os dois tipos de planos usados nos experimentos descritos neste roteiro.

Figura 3 – Plano horizontal



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Figura 4 – Plano inclinado



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

A Figura 5 mostra os três tipos de arruelas utilizadas no kit experimental.

Figura 5 – Arruelas usadas nos experimentos



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

A Figura 6 ilustra todos os ganchos que podem ser usados nos experimentos.

Figura 6 – Ganchos usados nos experimentos



Fonte: elaborada pela autora (2025).

- Uma Folha de PVC fosca: utilizada como superfície de contato móvel, permitindo a visualização do sentido da força exercida pelas rodas do carrinho.
- Um carrinho de brinquedo com controle remoto: atua como o agente motor do experimento, aplicando a força necessária para iniciar o movimento e a interação com a superfície.
- Uma caixa de lápis de cor: dispostos de forma paralela, os lápis funcionam como roletes de baixo atrito, permitindo que a folha de PVC deslize livremente no sentido oposto ao movimento do carrinho, evidenciando o par ação e reação.

A Figura 7 mostra o kit utilizado na demonstração lúdica. Além dos experimentos quantitativos, este produto integra uma etapa lúdica e de alto impacto visual, projetada para

desafiar as concepções intuitivas dos estudantes sobre o sentido da força de atrito. A montagem utiliza itens do cotidiano para criar um sistema de interação dinâmica, onde o objetivo é observar o fenômeno da ação e reação aplicado ao movimento motor.

Figura 7 – Kit da demonstração lúdica



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

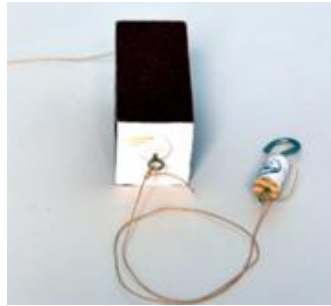
3.3 Procedimentos

3.3.1 Experimento 1 – *Determinação do coeficiente de Atrito Estático e Cinético no plano horizontal*

Experimentalmente observa-se que a Força de Atrito Estático, quando as superfícies em contato não estão em movimento entre si, cresce em oposição à tendência de deslocamento, atingindo um valor que é proporcional à Força Normal (N). Em um Plano Horizontal essa força tem módulo igual ao peso do corpo, ou seja, $N = Mg$, onde M representa a massa do corpo e g , a aceleração da gravidade local.

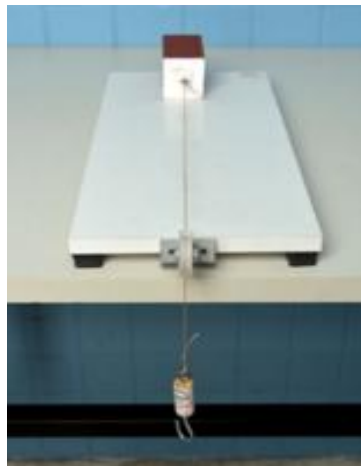
3.3.1.1 Usando o aparato experimental mostrado nas Figuras 8 e 9, posicione o bloco 1 sobre a base de madeira (Plano Horizontal liso), cuja face está revestida com a lixa N° 60 (a mais porosa), em contato com a base.

Figura 8 – Bloco 01 com gancho



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Figura 9 – Plano horizontal do experimento 01



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

No experimento, a maior intensidade da Força de Atrito será aquela igual ao peso máximo suspenso no cordão para o qual o corpo permanece parado: $F = mg$, onde m é a massa das arruelas + gancho. Chama-se de coeficiente de Atrito Estático a razão (divisão) entre a Força Normal e a Força de Atrito estático máxima: $\mu_e = \frac{F}{N} = \frac{mg}{Mg} = \frac{m}{M}$.

Encaixe uma arruela (tipo 1), uma de cada vez, no gancho de 10,5 g, que está ligado ao bloco 1 por meio de um cordão de 30 cm, até que o ele fique na iminência de se movimentar sem empurrar o bloco 1.

Se o peso das arruelas tipo 1 for além do necessário, use os outros tipos de arruelas, pois, à medida que as arruelas são colocadas no gancho, o peso do conjunto arruela + gancho vai aumentando até que aconteça a iminência do movimento, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10 – Dispositivo com arruelas



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

3.3.1.2 Usando a equação $\mu_{e1} = \frac{m}{M}$, onde m é a massa constituída pelo número de arruelas necessárias acrescida da massa do gancho (arruelas + gancho) e M é a massa do bloco de madeira utilizado no experimento, determine o coeficiente de atrito estático (μ_e). Anote o valor desse coeficiente de atrito.

Anote a quantidade de arruelas necessárias: _____

Massa das arruelas: _____

Massa total (arruelas + gancho): _____

$\mu_{e1} =$ _____

3.3.1.3 Com o objetivo de se determinar o coeficiente de atrito cinético, ponha novamente o bloco 1 na posição inicial, ainda usando a face revestida com a lixa (Nº 60) voltada para baixo, e comece a colocar gradualmente as arruelas no gancho. O bloco 1 deve adquirir movimento praticamente uniforme. Para que esse tipo de movimento aconteça, convém dar pequenos empurrões no bloco para vencer o atrito estático. Anote a quantidade de arruelas necessárias e calcule o coeficiente de Atrito Cinético pela mesma equação utilizada no item 3.3.1.2. Como a velocidade é praticamente constante, o coeficiente de atrito cinético também pode ser calculado pela equação $\mu_c = \frac{m}{M}$.

Anote a quantidade de arruelas necessárias para manter o movimento com velocidade aproximadamente constante: _____.

Massa das arruelas: _____.

Massa total (arruelas + gancho): _____

$\mu_{c1} =$ _____

3.3.1.4 Realize os mesmos procedimentos descritos nos itens anteriores, mudando a face do bloco 1 para a que está revestida com a lixa N° 120. Observe novamente quantas arruelas são necessárias para que o bloco de madeira fique na iminência de se movimentar. Anote o número de arruelas utilizadas e determine o novo coeficiente de Atrito Estático:

Quantidade de arruelas necessárias: _____.

Massa das arruelas: _____.

Massa total (arruelas + gancho): _____

$\mu_{e2} =$ _____

3.3.1.5 Agora refaça o procedimento descrito no item 4.3.1.3 usando o bloco ainda com face revestida com a lixa N°120 e determine o novo coeficiente de Atrito Cinético.

Quantidade de arruelas necessárias: _____.

Massa das arruelas: _____.

Massa total (arruelas + gancho): _____

$\mu_{c2} =$ _____

3.3.1.6 Compare os resultados e explique a diferença entre os valores obtidos para os dois tipos de coeficientes de Atrito (Estático e Cinético), levando-se em conta a numeração das lixas que foram colocadas no bloco.

3.3.2 Experimento 2 - Influência da Força Normal no coeficiente de Atrito Estático

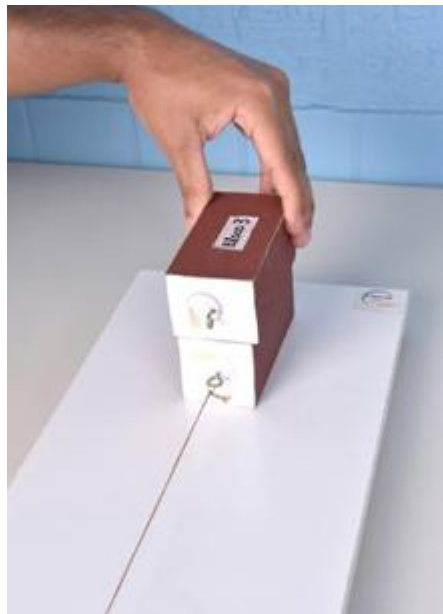
O objetivo é investigar como a Força Normal influencia na intensidade da Força de Atrito e se o coeficiente de atrito (μ_e) se mantém constante mesmo com o aumento da Força

Normal. Para aumentar a Força Normal sobre o bloco 1, coloque o bloco 3 sobre o bloco 1. Neste caso a intensidade da Força Normal sobre o bloco 1 será igual à soma dos pesos dos blocos 1 e 3.

4.3.2.1. Posicione o bloco 1 sobre a base de madeira (Plano Horizontal liso) com a face de lixa N° 60 voltada para baixo. Coloque o bloco 3 sobre o bloco 1, conforme ilustra a Figura 11. Repita a metodologia descrita no experimento do item 4.3.1.1, mas com os dois blocos juntos. Adicione arruelas do tipo 1, gradualmente ao gancho até que os dois blocos juntos fiquem na iminência de movimento.

A utilização dos diferentes tipos de arruelas (P, M e G) permite um ajuste fino na aplicação da carga. Recomenda-se iniciar com as arruelas de maior massa para vencer a inércia inicial e, ao perceber que o sistema se aproxima do ponto de ruptura do repouso, convém colocar as arruelas menores no gancho.

Figura 11 – Dispositivo usado na influência da Força Normal



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

3.3.2.2 Anote as novas medidas:

(Massa do bloco 1 + massa do bloco 3) = (M_2) = _____

Massa das arruelas e do gancho para o novo sistema (m_2) = _____

3.3.2.3 Calcule o novo coeficiente de atrito estático.

$$\mu_{e_3} = \frac{m_2}{M_2} = \underline{\hspace{10cm}}$$

3.3.2.4 Compare o valor do coeficiente de atrito estático (μ_{e_1}) determinado no item 3.3.1.2 com o valor do coeficiente de atrito estático μ_{e_3} .

3.3.3 Experimento 3 – Determinação do coeficiente de Atrito Estático e Cinético no Plano Inclinado

O aparato experimental da Figura 12 é constituído de um plano inclinado e um bloco de madeira com as quatro faces revestidas de materiais diferentes: lixa para ferro, tecido, papel e EVA. Apesar de as quatro faces estarem revestidas com os materiais descritos, usaremos apenas duas faces para descrever o comportamento da força de atrito nesse tipo de plano para não deixar o experimento muito demorado.

Figura 12 – Plano inclinado usado no experimento



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

3.3.3.1. Posicione o bloco 2 no topo do plano inclinado com a face revestida de tecido encostando na superfície do plano. Pressione lentamente o êmbolo da seringa que está acoplada ao plano inclinado até que ele atinja uma inclinação em que o bloco de madeira fique na iminência de movimento.

Nesse procedimento, a seringa preenchida com água atua como um mecanismo hidráulico, utilizando a compressão de certa quantidade de água colocada nela. O princípio

físico por trás desse experimento é o Princípio de Pascal para fluidos incompressíveis, que foi adaptado para o uso com água. Ao empurrar o êmbolo da seringa, a água é comprimida em seu interior, o que gera uma pressão que se distribui por todo o volume da seringa, e, nesse caso, força a outra seringa a se expandir, elevando o plano inclinado.

A Figura 13 ilustra como o êmbolo de ser acionado para aumentar a inclinação do plano.

Figura 13 – Vista do dispositivo hidráulico utilizado no Experimento



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Usando o transferidor acoplado ao plano, meça o ângulo necessário para deixar o bloco prestes a se movimentar e anote o valor.

$$\theta_1 = \underline{\hspace{10em}}$$

$$\tan \theta_1 = \mu_{e_1} = \underline{\hspace{10em}}$$

A Figura 14 ilustra melhor o mecanismo hidráulico, composto por duas seringas de 10ml e um pedaço de uma mangueira transparente.

Figura 14 – Vista do dispositivo hidráulico



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

O intuito desse mecanismo é facilitar o manuseio do aumento ou da diminuição do ângulo, pois o experimento precisa ser feito com suavidade para não comprometer os resultados esperados. Assim, o estudante consegue ajustar o plano inclinado de maneira gradual e precisa, evitando variações bruscas que poderiam interferir na coleta de dados.

3.3.3.2. Usando o bloco 2 com a mesma face do item 4.3.3.1, posicione-o no topo do plano inclinado. Pressione novamente o êmbolo da seringa até que o plano se incline o suficiente para o bloco se movimentar com velocidade constante. Aqui também o estudante, a cada nova inclinação, deve dar pequenos empurrões no bloco para vencer a força de atrito estático. Anote o novo ângulo medido no transferidor. Para calcular o coeficiente de Atrito Cinético, pode-se usar a mesma dedução do item anterior, ou seja, a tangente do ângulo condizente com a inclinação do plano é numericamente igual ao coeficiente de Atrito Cinético.

$$\theta_2 = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$\tan \theta_2 = \mu_{c_1} = \underline{\hspace{10cm}}$$

3.3.3.3. Agora faça o mesmo procedimento do item 4.3.3.2, usando a face do bloco 2 que está revestida com EVA. Se a compressão exercida pela água não for suficiente para deixar o bloco sobre o plano inclinado prestes a se movimentar, o mecanismo hidráulico contém um dispositivo reserva, dotado de um cilindro metálico acoplado a um ímã, que aumenta a inclinação do plano ao ser encaixado, por atração magnética, em peça fixada embaixo do plano inclinado. As Figuras 15 e 16 ilustram esse dispositivo auxiliar.

Figura 15 – Vista do dispositivo auxiliar



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Figura 16 – Vista do encaixe do dispositivo reserva



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

3.3.3.4 Meça o ângulo no transferidor e anote os resultados.

$$\theta_3 = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$\tan \theta_3 = \mu_{e_2} = \underline{\hspace{10cm}}$$

3.3.3.5 Usando ainda o bloco 2 com a face revestida de EVA, posicione-o no topo do plano inclinado e proceda com as mesmas orientações descritas no item 3.3.3.3 para determinar o coeficiente de atrito cinético. Anote os resultados.

$$\theta_4 = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$\tan \theta_4 = \mu_{c_2} = \underline{\hspace{10cm}}$$

3.3.3.6 Compare os resultados e explique a diferença entre os valores obtidos para os dois tipos de coeficientes de atrito (estático e cinético), levando-se em conta o tipo de material que revestiu as faces usadas no aparato experimental.

3.3.4 Experimento 4 - Influência da área de contato no coeficiente de Atrito Estático

O objetivo deste experimento é investigar se a área de contato entre as superfícies afeta a intensidade da Força de Atrito Estático e se compromete o valor do coeficiente de Atrito Estático entre o bloco e o plano horizontal.

3.3.4.1 Inicialmente meça e anote as dimensões do bloco 4 (massa $M = 124,0$ g), conforme ilustram as Figuras 17 e 18.

- Face A (maior área): comprimento = _____ cm; largura = _____ cm.

Figura 17 – Face A (maior área de contato)



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

- Face B (menor área): comprimento = _____ cm; largura = _____ cm.

Figura 18 – Face B (menor área de contato)



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

3.3.4.2 Posicione o Bloco 4 sobre o plano horizontal liso, com a Face A (maior área) em contato com a base, conforme ilustra a Figura 19. Use a face que está revestida com a lixa Nº 120.

3.3.4.3 Repita a metodologia descrita no item 4.3.1.2, adicionando arruelas gradualmente ao gancho até o bloco atingir a iminência de movimento.

Figura 19 – Face A do bloco 4 em contato com o plano



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

3.3.4.4 Anote as medidas:

Quantidade de arruelas necessárias: _____

Massa das arruelas: _____

Massa total (arruelas + gancho): _____

3.3.4.5 Usando a mesma equação mostrada no item 4.3.1.2, determine o coeficiente de Atrito Estático da face A em contato com o plano horizontal liso. Anote o valor desse coeficiente de atrito:

$$\mu_A = \frac{m}{M} = \underline{\hspace{2cm}}$$

3.3.4.6 Gire o Bloco 4, de tal maneira que a Face B (menor área) do bloco 4 fique em contato com o plano horizontal liso. Mantenha a face que está revestida com a lixa de N° 120. É importante certificar-se de que o bloco esteja posicionado de forma estável, sem inclinações ou desalinhamentos que possam interferir na coleta de dados.

3.3.4.7. Repita o procedimento da adição de arruelas até o bloco ficar na iminência de movimento. A Figura 20 ilustra o procedimento descrito no item 4.3.4.6.

Figura 20 – Face B do bloco 4 em contato com o plano



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

3.3.4.8 Anote os resultados:

Quantidade de arruelas necessárias: _____

Massa das arruelas: _____

Massa total (arruelas + gancho): _____

$$\mu_B = \frac{m}{M} = \underline{\hspace{2cm}} =$$

3.3.4.9 Compare os coeficientes de atrito estático calculados μ_A e μ_B . Eles foram iguais ou diferentes? Com base nos experimentos realizados, qual a influência da área no coeficiente de atrito estático, quando a massa do corpo não muda?

3.4 Demonstração Lúdica da Força de Atrito

Ao posicionar o carrinho sobre uma superfície móvel (folha de PVC) apoiada em roletes (lápiz de cor), criamos um cenário de baixa resistência onde o sentido da força que o

pneu exerce sobre o solo torna-se evidente. O objetivo é provocar a curiosidade e o debate: se o carrinho se move para a frente, por que a superfície abaixo dele é empurrada para trás?

3.4.1 Coloque os lápis de cor lado a lado, sobre uma mesa, como se estivessem formando uma "cama" ou "trilhos". Posicione a folha de PVC fosca sobre os lápis. Deixe um espaçamento entre os lápis.

3.4.2 Depois acomode o carrinho de controle remoto sobre a folha. Acione o controle para fazer o carrinho se mover, conforme ilustram as Figuras 21 e 22.

Figura 21 – Demonstração lúdica da força de atrito de rolamento



Fonte: Elaborada pela autora (2026).

Figura 22 – Carrinho de brinquedo movendo-se sobre uma folha de PVC



Fonte: Elaborada pela autora (2026).

3.4.3 Após a demonstração com o carrinho de controle remoto, a folha de PVC e os lápis, explique, sucintamente, por que o carrinho se move para a frente e a folha de PVC se

move para a trás. Os lápis são usados para permitir o deslocamento da folha de PVC. Qual o sentido da força de atrito sobre o carrinho e qual o sentido da força de atrito sobre a folha de PVC?

4. DETALHAMENTO TÉCNICO DO APARATO EXPERIMENTAL

Para garantir a reprodutibilidade do produto, opta-se por materiais de fácil acesso. O Quadro 5 apresenta a descrição dos materiais usados na montagem do kit experimental. Além de especificações quanto à largura, comprimento, altura, massa, peso e cor, a descrição informa onde encontrar o material especificado e a funcionalidade.

Quadro 5 – Descrição dos materiais usados nos experimentos




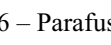
continua				
Item	Material	Dimensões	Descrição	Onde comprar
1	Tábua de madeira	20 cm × 40 cm × 1,5 cm 1 unidade	Base de madeira plana e lisa, utilizada como plano horizontal para o estudo do Atrito Estático e Cinético.	Marcenarias
2	Tábua de madeira	15 cm × 30 cm × 1,5 cm 2 unidades	Superfície móvel que permite variar o ângulo de inclinação para análise da Força de Atrito em função do ângulo crítico.	Marcenarias
3	Bases de PVC	4 unidades	Fixam a base do experimento à mesa, evitando deslocamentos durante os testes.	Lojas de material de construção, sucatas de PVC, oficinas.
4	Parafusos	4 unidades	Fixação estrutural das bases e componentes do sistema.	Lojas de ferragens, material de construção.
5	Parafuso tipo L	1 unidade	Atua como ponto de apoio e articulação do plano inclinado.	Lojas de ferragens, material de construção.
6	Sistema de Tração	1 unidade	Polia plástica (4 cm diâmetro) e um barbante de 30 cm.	Lojas de ferragens, material de construção.
7	Seringas	2 unidades (10 ml)	Utilizadas como atuadores hidráulicos para ajustar gradualmente a inclinação do plano.	Farmácias
8	Mangueira transparente	50 cm	Conecta as seringas, funcionando como sistema hidráulico para nivelamento e inclinação.	Lojas de material de construção.
9	Palitos de madeira	2 unidades (30 cm)	Auxiliam como hastes de suporte ou referência angular no plano inclinado.	Papelarias, lojas de artesanato.
10	Dobradiças pequenas	2 unidades (16 mm × 13 mm)	Permitem a articulação entre o plano inclinado e a base horizontal.	Lojas de ferragens e material de construção.
11	Parafusos para dobradiças	8 unidades (M4 × 0,8 mm)	Fixação das dobradiças à madeira.	Lojas de ferragens.
12	Bloco 1	5,2 cm x 10,5 cm x 4,3 cm Massa: 259,0 g Peso: 2,54 N	Utilizado no plano horizontal liso para estudo do atrito estático e cinético com diferentes superfícies.	Marcenarias, sobras de madeira.
13	Bloco 2	4,7 cm x 10,4 cm x 5,0 cm	Utilizado no plano inclinado para analisar o	Marcenarias, sobras de madeira.

		Massa: 264,0 g Peso: 2,59 N	atrito em diferentes materiais de contato.	
14	Bloco 3	5,1 cm x 8,7 cm x 7,5 cm Massa: 252,0 g Peso: 2,47 N	Usado no plano horizontal para investigar a influência da força normal no coeficiente de atrito estático.	Marcenarias, sobras de madeira.
15	Bloco 4	3,0 cm x 11,1 cm x 4,4 cm Massa: 124,0 g Peso: 1,21 N	Utilizado para estudar a influência da área de contato no cálculo do coeficiente de atrito estático	Marcenarias, sobras de madeira.
16	Carrinho de controle remoto	1 unidade	Utilizado na demonstração lúdica do atrito de rolamento.	Lojas de brinquedos
17	Lápis de cor	1 caixa com 24 lápis	Utilizado na demonstração do atrito de rolamento.	Papelarias
18	Folha de PVC	27 cm x 52 cm 1 unidade	Pista do carrinho de controle remoto	Papelarias
19	Transferidor	1 unidade	Dispositivo para medir ângulos.	Papelarias
20	Cola Branca	1 unidade	Utilizada para fazer acabamentos.	Papelarias

Fonte: Elaborado pela autora (2025).











Com o objetivo de deixar a descrição mais detalhada, o Quadro 6 informa algumas observações que facilitam a aplicação e o manuseio dessa sequência didática.





Quadro 6 – Especificações e Registros Fotográficos dos Materiais²

Item	Observações	Figura
1	Plano horizontal: preferencialmente branca, para melhor visualização dos blocos.	Figura 23 – Plano horizontal 
2	Plano Inclinado: possui possibilidade de diversas inclinações.	Figura 24 – Plano inclinado 
3	Bases de PVC: contribuem para reduzir vibrações e deslizamentos.	Figura 25 – Bases do Plano 
4	Parafusos médios compatíveis com madeira e PVC.	Figura 26 – Parafusos médios 

continua

² Todas as figuras e os gráficos que estão dentro dos Quadros foram elaboradas pela autora.

		
5	Parafuso tipo L: auxilia na regulagem da inclinação.	Figura 27 – Parafuso tipo L 
6	Seringas: permitem controle fino do ângulo por meio da compressão do êmbolo.	Figura 28 – Seringa descartável 
7	Mangueira tipo nível.	Figura 29 – Mangueira transparente 
8	Palito de madeira: uso estrutural e alinhamento do trajeto do bloco.	Figura 30 – Palito de churrasco 
9	Dobradiças: garantem movimento suave e controlado.	Figura 31 – Dobradiças 
10	Parafusos para dobradiças: devem ser bem ajustados para evitar folgas.	Figura 32 – Parafusos para dobradiça 
11	Bloco 1: faces revestidas com lixa N° 60 e N° 120.	Figura 33 – Bloco 1 
12	Bloco 2: faces revestidas com lixa para ferro N° 40, EVA, papel e tecido.	Figura 34 – Bloco 2 
13	Bloco 3: usado para testar a influência da área no cálculo do coeficiente de atrito estático.	Figura 35 – Bloco 3 
14	Bloco 4: faces revestidas com lixas N° 120 e N° 220.	Figura 36 – Bloco 4

		
15	Carrinho de controle remoto: pode ser qualquer carrinho de tamanho médio.	<p>Figura 37 – Carrinho de controle remoto</p> 
16	Lápis de cor: facilitar o deslocamento do carrinho sobre a folha de PVC.	<p>Figura 38 – Lápis de cor</p> 
17	A folha de PVC transparente facilita a visualização da demonstração lúdica.	<p>Figura 39 – Folha de PVC</p> 

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A identificação do material usado no revestimento dos blocos de madeira é apresentada no Quadro 7. Embora as faces do Bloco 2, revestidas com lixa para ferro N° 40 e papel, não tenham sido utilizadas neste aparato, deixo a referência para outras possibilidades de implantação. A ideia de revestir os blocos com esses materiais é simular superfícies que oferecem muito atrito, pouco atrito, alta rugosidade, alto e baixo poder de adesão. São materiais que os estudantes podem fazer analogias com outros que fazem parte do nosso cotidiano.

Quadro 7 – Detalhamento das superfícies de contato

Material de Revestimento	Local de Aplicação	Função Pedagógica
Lixa N° 60	Bloco 1	Simular uma superfície que oferece muita rugosidade.
Lixa N° 120	Bloco 1	Simular uma superfície que oferece baixa rugosidade.
Lixa Para Ferro N° 40	Bloco 2	Simular uma superfície que oferece alta rugosidade
Tecido	Bloco 2	Simular uma superfície que oferece pouca rugosidade
Eva	Bloco 2	Simular uma superfície com alto poder da adesão.
Papel	Bloco 2	Simular uma superfície com baixo poder da adesão.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

5 DESCRIÇÃO DA MONTAGEM E FUNCIONALIDADE

Basicamente, a estrutura do aparato experimental dessa sequência didática utiliza uma tábua de madeira (20 cm x 40 cm) para fazer o Plano Horizontal e duas tábuas de madeira (15 cm x 30 cm), para fazer o Plano Inclinado. Além disso, o aparato conta com quatro blocos de madeira de tamanho e massa especificados no Quadro 5 e acessórios indispensáveis para um funcionamento do aparato experimental.

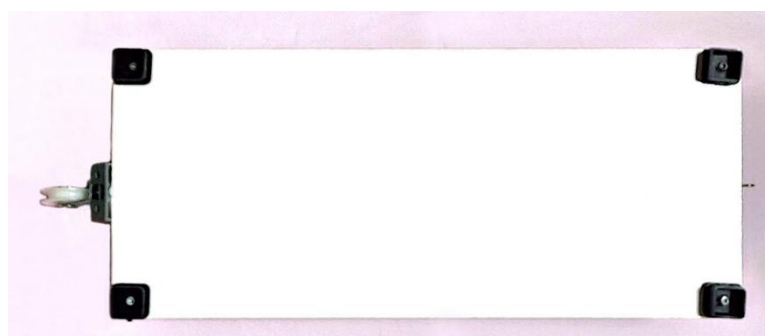
Seguem os passos necessários para montagem e funcionalidade do produto educacional:

5.1 Plano Horizontal

Posicione a tábua de madeira destinada ao Plano Horizontal sobre a mesa de apoio e fixe, na face inferior, as quatro bases de PVC, distribuídas próximas aos cantos, conforme ilustra a Figura 40. Use ferramentas, como chave de fenda ou estrela, para apertar os parafusos das bases, pois elas garantem aderência à mesa e evitam deslocamentos durante os experimentos. O nivelamento do plano também é importante para não comprometer os resultados.

Além disso, é indispensável verificar o nivelamento do Plano Horizontal antes de iniciar os experimentos. Um plano desnivelado pode introduzir componentes adicionais de força, alterando as condições ideais previstas para a investigação e comprometendo a confiabilidade dos dados obtidos. Portanto, garantir estabilidade e nivelamento não é apenas um cuidado técnico, mas uma etapa metodológica essencial para assegurar a validade e a consistência das conclusões experimentais.

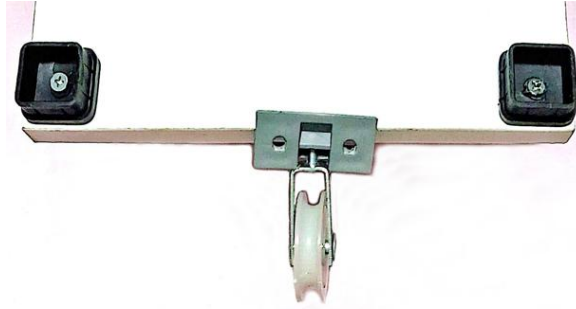
Figura 40 – Bases de PVC do Plano Horizontal



Fonte: Elaborada pela autora (2026).

Depois fixe uma polia plástica em uma das extremidades do plano usando parafusos com o tamanho adequado conforme mostra a Figura 41.

Figura 41 – Polia plástica do sistema de tração

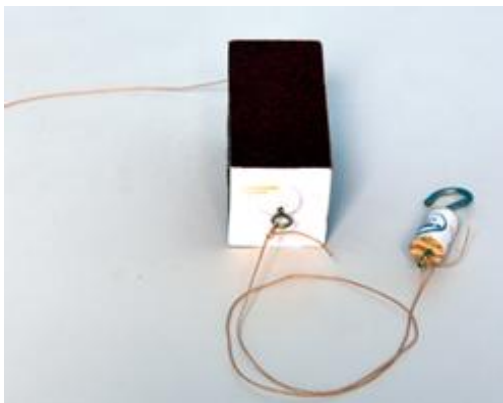


Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Para compor o sistema de tração do Plano Horizontal, amarre um pedaço de barbante no gancho metálico do bloco 1 e pendure a outra ponta do barbante no gancho de cortiça, onde as arruelas ficam penduradas para fazer o tracionamento do sistema.

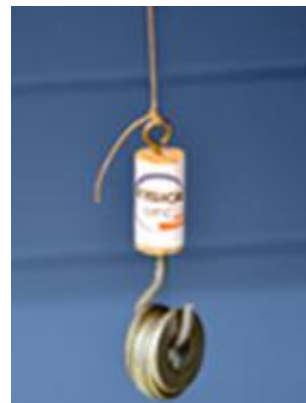
A montagem dos revestimentos dos blocos 01 e 03 segue o seguinte critério: uma face é revestida com lixa N°60, a outra com lixa N° 120, fixadas com cola branca. As outras duas faces são revestidas de PVC só para deixar uma opção de baixo atrito, caso o aplicador queira elaborar uma atividade investigativa e comparativa com as lixas. Essa estratégia permite que o aluno inverta o bloco e perceba imediatamente a mudança na Força de Atrito, sem alterar a massa do sistema. As Figuras 42 e 43 mostram os detalhes do sistema de tração e o gancho, usado para inserir as arruelas.

Figura 42 – Sistema de tração



Fonte: Elaborada pela autora (2026).

Figura 43 – Gancho com arruelas



Fonte: Elaborada pela autora (2026).

O barbante que interliga o bloco 01 ao gancho metálico mede 30 cm. Para melhor fixação, o gancho é inserido em um pedaço de cortiça. Durante o manuseio do experimento, o cordão não deve tocar na superfície onde o plano foi colocado para não comprometer os resultados da prática.

5.2 Plano Inclinado

Para a montagem do Plano Inclinado, utilizam-se duas tábuas de madeira com dimensões de 15 cm x 30 cm. A primeira serve como base fixa horizontal, enquanto a segunda terá sua inclinação ajustável por meio de um sistema hidráulico, detalhado na seção seguinte. As tábuas devem ser unidas em uma de suas extremidades pela instalação de dobradiças, o que permite uma amplitude de inclinação de 0° a 90° . A leitura da inclinação é feita utilizando um transferidor, colado na base horizontal.

Posteriormente, cole na parte superior do plano inclinado dois palitos de madeira de tal maneira que sirva de pista para o bloco percorrer. O intuito é não deixar que o bloco saia do alinhamento, pois o bloco pode descer desgovernado no Plano Inclinado e dificulta a leitura correta da inclinação do plano.

As Figuras 44 e 45 mostram o plano inclinado aberto e alguns detalhes da montagem. Durante a confecção desse aparato experimental, o aplicador deve colocar as dobradiças bem na junção das duas tábuas que vão compor o Plano Inclinado e ter cuidado no posicionamento do transferidor, pois o ângulo de 0° deve estar alinhado com a superfície superior da base horizontal.

Figura 44 – Dobradiças do plano inclinado



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Figura 45 – Plano inclinado



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

5.3 Sistema Hidráulico de Elevação do Plano Inclinado

O sistema hidráulico do Produto Educacional – Atrito, O Paradoxo do Movimento é idealizado com o intuito de controlar a inclinação do plano e, conseqüentemente, deixar o movimento do bloco 02 sem oscilações.

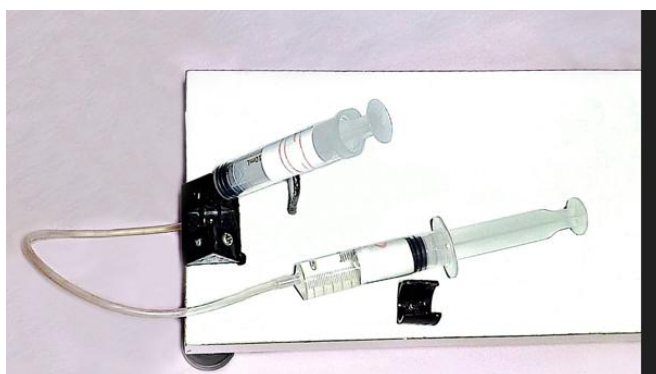
O sistema é baseado no Princípio de Pascal, composto por duas seringas descartáveis de 10 ml cada. Para construir esse dispositivo, fixe uma seringa na base horizontal, de maneira inclinada e a outra seringa deve ser posicionada sobre a base horizontal, encaixada em pedacinho de cano.

As duas seringas são conectadas por meio de um pedaço de mangueira transparente, por onde a água flui. Quando o operador aciona lentamente o êmbolo da seringa que está sobre o Plano Horizontal, a pressão exercida pela água é transmitida através da mangueira, e o êmbolo da outra seringa força a elevação do plano. Com isso aumenta-se a inclinação do plano de forma suave e o objetivo do experimento é alcançado.

A fixação do parafuso tipo L instalado na base horizontal funciona como um ponto de apoio do Plano Inclinado.

A Figura 46 representa o sistema hidráulico desenvolvido para deixar o produto mais interessante e aguçar a curiosidade dos estudantes. O foco da sequência didática é o estudo da Força de Atrito, mas os preceitos da Hidrostática para construir o dispositivo são essenciais. Muitos estudantes querem compreender esse dispositivo e de que maneira um simples incremento de pressão na água faz o plano subir ao ponto de provocar o deslocamento de um bloco que estava em repouso. Para segurar a seringa que está inclinada, coloca-se um terminal de barreira.

Figura 46 – Sistema hidráulico de inclinação do plano



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Para finalizar a montagem do experimento do Plano Inclinado, os revestimentos do bloco 02 são feitos com quatro tipos de materiais: EVA, lixa para ferro N° 40, tecido e papel comum branco, todos fixados com cola branca. Como já ressaltado, o experimento é instalado usando apenas duas faces do Bloco 02 para não exceder o tempo descrito no cronograma, nem causar fadiga nos estudantes. As Figuras 47 e 48 mostram o material do revestimento.

Figura 47 – Bloco revestido com lixa N° 40



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Figura 48 – Bloco revestido com tecido



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação deste Produto Educacional confirma que o ensino de Física, quando mediado por atividades experimentais investigativas, atua como um poderoso agente de aprendizagem significativa.

O principal objetivo desta dissertação é apresentar uma sequência didática que promove o estudo da Força de Atrito por meio de aparatos experimentais inovadores, como o Plano Inclinado com sistema hidráulico e o Plano Horizontal com um sistema de tração alimentado por uma polia e um barbante.

Esta pesquisa surge da necessidade de se aprimorar o ensino de Física em escolas da rede pública estadual, onde a carência de recursos laboratoriais muitas vezes distancia o aluno da ciência experimental.

A proposta fundamenta-se nos preceitos de Ausubel, ao transformar o conhecimento prévio do aluno no alicerce para a compreensão das leis do atrito. Através do diagnóstico inicial e do uso do kit experimental como ponte cognitiva, é possível converter concepções prévias em saberes científicos, desenvolvendo no estudante habilidades de análise e interpretação que vão além da simples aplicação de fórmulas.

A estratégia de utilizar um aparato de baixo custo e fácil acesso confere a este produto uma versatilidade para a realidade das escolas públicas brasileiras. Mais do que uma alternativa econômica, a aplicação dos experimentos investigativos torna a sala de aula um ambiente de mediação vygotskiana, onde a interação entre as equipes proporciona um ambiente de parceria e acolhimento.

A introdução da Demonstração Lúdica com o carrinho de controle remoto cumpre o papel de gerar a perplexidade necessária, descrita por John Dewey, para que o processo de investigação científica se inicie naturalmente. A ludicidade, portanto, é uma ferramenta intencional de engajamento que conecta a Física com a realidade e a curiosidade do jovem. O protagonismo assumido pelo estudante, ao testar suas próprias hipóteses, fortalece a construção de um pensamento crítico e reflexivo.

Conclui-se, portanto, que a integração entre teoria, prática e ludicidade aqui apresentadas oferece um caminho viável para superar a fragmentação do ensino de Mecânica. Este Produto Educacional demonstra que o uso de materiais acessíveis e roteiros bem estruturados é capaz de ressignificar o estudo da Força de Atrito para além da memorização de fórmulas, transformando a curiosidade despertada pelo paradoxo em um conhecimento sólido, crítico e integrado à realidade do dia a dia.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, Beatriz Ribeiro de; MÁXIMO, Antônio Ribeiro da Luz. **Curso de Física**. São Paulo: Scipione, 2011. v. 1.

ANDRADE-NETO, Aristeu Vicente de; SILVA, Manoel Paiva da; SASAKI, Douglas Gonçalves Gomes; JESUS, Vitor Luiz Bastos de. Rolamento sem deslizamento: uma abordagem teórica e experimental. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 1-8, 2013.

ARONS, Arnold Boris. Um Programa de Trabalho para o Ensino Introdutório de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 27-41, 1999.

CASTRO, Leidiane da Luz. **A Teoria de Vygotsky aplicada ao Ensino de Física**. 2016. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2016.

CHALMERS, Alan. **A Fabricação da Ciência**. São Paulo: Editora da Unesp, 1994.

DEWEY, John. **Como Pensamos**: a relação do pensamento reflexivo com o processo educativo. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1959.

ESTEVES, Marcelo Castanheira; SILVA, Hilda Aparecida da. A influência da utilização de materiais de baixo custo no ensino da Força de Atrito. **Caderno de Física da UEFS**, Feira de Santana, v. 2, n. 2, p. 1-13, 2004.

FAPESP. Da Vinci e a fricção. **Revista Pesquisa Fapesp**, 2021. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/da-vinci-e-a-friccao/>. Acesso em: 03 out. 2025.

JESUS, Vitor Luiz Bastos de; SASAKI, Douglas Gonçalves Gomes. Vídeo-análise de um experimento de baixo custo sobre atrito cinético e atrito de rolamento. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, p. 1-7, 2014.

MONTEIRO, Marco Aurélio Alvarenga. O professor: mediador. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 29, n. 1, p. 33-54, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29n1p33>. Acesso em: 28 set. 2025.

MOREIRA, Marco Antônio. O professor: mediador. *In*: MOREIRA, Marco Antônio; MASINI, Elcie Aparecida Fortes Salzano (Orgs.). **Aprendizagem Significativa**: a Teoria de David Ausubel. São Paulo: Moraes, 1999. p. 111.

OLIVEIRA, Ricardo Ferreira de. **Desenvolvimento de uma sequência didática para o estudo das forças de atrito**: do sensorial ao fenomenológico. 2019. 112 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

PLACIDES, Fernando Mariano; COSTA, Jose Wilson da. John Dewey e a aprendizagem como experiência. **Imagens da Educação**, [S.l.], 2015.

SOUZA, Solange Jobim e. Pensamento e Linguagem: uma nova leitura. *In*: VYGOTSKY, Lev Semenovich. **Pensamento e Linguagem**. 5. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2013. p. 13.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO 01



PRODUTO EDUCACIONAL – ATRITO: O PARADOXO DO MOVIMENTO.

QUESTIONÁRIO 01: Avaliação Diagnóstica dos Conhecimentos Prévios e Percepções sobre o Estudo da Força de Atrito.

Este questionário, que faz parte do produto educacional denominado: Atrito, o Paradoxo do Movimento, tem como objetivo coletar informações sobre o conhecimento prévio e as percepções dos estudantes em relação à força de atrito, um fenômeno físico presente em diversas situações do nosso dia a dia. As questões abordam desde conceitos básicos até aplicações práticas, buscando compreender como o aprendiz relaciona a teoria com as experiências cotidianas antes da aplicação da sequência didática.

As respostas nos ajudarão a desenvolver estratégias de ensino mais eficazes e aprimorar o aprendizado deste importante conceito da Física. A participação é voluntária e as respostas serão tratadas de forma confidencial.

01. Quando um objeto desliza sobre uma superfície, qual a principal causa da força de atrito?

- A () A gravidade puxando o objeto para baixo.
- B () A resistência do ar contra o movimento.
- C () As irregularidades entre as superfícies em contato.
- D () A força aplicada para iniciar o movimento.

02. Em qual das situações abaixo a força de atrito é útil e necessária?

- A () Patinar no gelo com velocidade constante.
- B () Deslizar em um tobogã.
- C () Acender um fósforo.
- D () Empurrar um móvel pesado.

03. O que acontece com a intensidade da força de atrito quando aumentamos a força que pressiona um objeto contra uma superfície?

- A () Diminui.
- B () Permanece igual.
- C () Aumenta.

D () Depende do tipo de material.

04. Qual a diferença entre atrito estático e atrito cinético?

- A () Atrito estático ocorre quando o objeto está em movimento e cinético quando está em repouso.
B () Atrito estático é sempre maior que o atrito cinético.
C () Atrito cinético é sempre maior que o atrito estático.
D () Não há diferença entre eles.

05. Uma caixa está em repouso sobre uma superfície horizontal. Qual força impede que ela se mova caso alguém tente empurrá-la?

- A () Força peso.
B () Força normal.
C () Força de atrito estático.
D () Força de atrito cinético.

06. Quando um carro freia bruscamente, o que causa a diminuição da velocidade?

- A () A força do motor.
B () A força de atrito entre os pneus e o asfalto.
C () A inércia do carro.
D () A força da gravidade.

07. Em qual superfície é mais fácil empurrar um objeto pesado?

- A () Asfalto rugoso.
B () Carpete.
C () Gelo.
D () Concreto seco.

08. O coeficiente de atrito depende

- A () da área de contato entre as superfícies.
B () da velocidade do objeto.
C () do material das superfícies em contato.
D () da força aplicada sobre o objeto.

09. Um livro está em repouso sobre uma mesa inclinada. Qual força impede que ele deslize para baixo?

- A () A força peso.
B () A força normal.
C () A força de atrito estático.
D () A força de atrito cinético.

10. Qual a consequência da ausência de atrito entre os nossos pés e o chão ao caminharmos?

- A () Conseguiríamos andar com mais facilidade.
- B () Seria impossível andar.
- C () Andaríamos mais rápido.
- D () Andaríamos mais devagar.

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO 02



PRODUTO EDUCACIONAL – ATRITO: O PARADOXO DO MOVIMENTO.

Questionário Avaliativo 02: Pós-Experimentos

Este questionário tem por objetivo avaliar a eficácia do produto educacional: *Atrito, o Paradoxo do Movimento*, na consolidação dos conceitos de Força de Atrito, verificando a superação das concepções prévias e a compreensão da relação de proporcionalidade entre Força de Atrito e a Força Normal (N), bem como a correta distinção entre atrito estático e cinético e comparar os valores dos coeficientes de atrito em diversos procedimentos experimentais.

1. Nos experimentos, as lixas (Nº 60 e Nº 120) coladas no bloco de madeira no plano horizontal serviram para

- A () diminuir a massa do bloco.
- B () aumentar o atrito entre o bloco e a superfície.
- C () alterar a área de contato do bloco com a superfície.
- D () deixar a superfície do bloco mais lisa.

2. Mesmo com o aumento gradual do plano inclinado, o bloco de madeira permanece em repouso, prestes a deslizar.

Qual das forças listadas é responsável por impedir o início do movimento?

- A() Força de Atrito cinético.
- B() Força normal, que atua perpendicularmente à superfície do plano.
- C() Força de atrito estático, que atua no sentido contrário à tendência de movimento.
- D() Força peso, que atua verticalmente para baixo.

3. No experimento do plano horizontal, o que a força exercida pelo gancho com os pesos das arruelas mede no exato instante em que o bloco começava a se mover?

- A() A força normal.
- B() A força de atrito estático máximo.
- C() A força de atrito cinético.
- D() A força peso do bloco.

4. Com base nas suas observações nos experimentos, o coeficiente de atrito depende da(o)

- A() peso do bloco.
- B() velocidade com que o bloco se move.
- C() material das superfícies em contato, como as lixas.
- D() força aplicada sobre o bloco.

5. Qual a principal diferença que você identificou entre a força de atrito estático e a de atrito cinético com base nos experimentos?

- A() A força de atrito estático máxima é maior que a força de atrito cinético.
- B() A força de atrito estático é sempre menor que a força de atrito cinético.
- C() As duas forças são iguais.
- D() A força de atrito cinético está sempre presente quando um corpo está em contato com uma superfície.

6. Qual seria a consequência da ausência de atrito, com base no que você viu nos experimentos?

- A() Conseguiríamos andar com mais facilidade.
- B() Seria impossível andar ou segurar objetos.
- C() Andaríamos mais rápido.
- D() Andaríamos mais devagar.

7. Se a superfície do plano inclinado fosse coberta por um material extremamente liso, como o gelo, o que aconteceria com o ângulo mínimo necessário para o bloco começar a deslizar?

- A() Aumentaria, pois o atrito seria menor.
- B() Diminuiria, pois o atrito seria menor.

- C() Permaneceria o mesmo.
D() Aumentaria, pois o peso do bloco seria maior.

8. Durante o experimento no plano horizontal, o que aconteceu com a Força de Atrito Estático Máxima quando você adicionou pesos sobre o bloco de madeira?

- A() A força de atrito permaneceu a mesma, pois o material da superfície não mudou.
B() Diminuiu, pois o bloco estava mais pesado.
C() Aumentou, pois o peso adicional aumentou a Força Normal (N) exercida pela superfície.
D() Aumentou apenas se o coeficiente de atrito também aumentasse.

9. Na demonstração lúdica do movimento do carrinho de controle remoto, a Força de Atrito entre o carrinho e a folha de PVC

- A() agiu como um freio, impedindo o movimento do carrinho.
B() diminui a velocidade do carrinho e da folha de PVC.
C() permitiu que as rodas "empurrassem" a folha de PVC para trás, e a folha de PVC empurrasse o carrinho para a frente.
D() não havia força de atrito entre o carrinho e a folha de PVC.

10. Durante o experimento da influência da área sobre o valor do coeficiente de atrito estático, qual foi a conclusão principal quando a área de contato com o plano foi alterada?

- A() O coeficiente de atrito foi igual para as duas faces (A e B), pois o coeficiente depende apenas do material.
B() O coeficiente de atrito estático foi maior na face B (menor área), pois a pressão exercida sobre a superfície aumentou.
C() O coeficiente de atrito estático foi maior na face A (maior área), pois houve mais contato entre as superfícies.
D() A força de atrito mudou, mas o coeficiente de atrito estático permaneceu constante.

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO 03



Questionário 03 – Avaliação do Produto Educacional

O objetivo deste questionário é avaliar o feedback da aplicação da sequência didática investigativa, analisando a metodologia experimental, o uso de materiais de fácil acesso e a eficácia das atividades práticas na compreensão do estudo da Força de Atrito. Os dados obtidos subsidiarão a análise qualitativa e quantitativa da viabilidade do Produto Educacional: Atrito – O Paradoxo do Movimento.

01. Como você avalia a utilidade das atividades experimentais para o entendimento dos conceitos de Força de Atrito estático e cinético?

- A () Muito útil.
- B () Útil.
- C () Pouco útil.
- D () Inútil.

02. O uso de materiais do cotidiano e de fácil acesso como bloco de madeira revestido com lixas, o plano horizontal e inclinado nas aulas de Física despertou mais seu interesse pelo conteúdo?

- A () Sim, muito.
- B () Sim, um pouco.
- C () Não mudou meu interesse.
- D () Diminuiu meu interesse.

03. Que tipo de recurso você considera mais eficaz para aprender sobre as causas microscópicas do atrito?

- A () Experimentos práticos.
- B () Vídeos.
- C () Aulas teóricas.
- D () Simuladores.

04. Você se sente mais confiante para resolver problemas de Física após realizar os experimentos propostos no produto educacional?

- A () Muito mais confiante.
- B () Confiante.
- C () Não faz diferença.
- D () Menos confiante.

05. A atividade com o carrinho de controle remoto e a folha de PVC tornou a aula de Física mais interessante e motivadora?

- A () Sim, muito.
- B () Sim, pouco.
- C () Indiferente.
- D () Não tenho opinião.

06. Você acredita que o kit (plano horizontal e inclinado) é de fácil manuseio para todos os alunos?

- A () Sim, totalmente.
- B () Sim, em parte.
- C () Pouco acessível.
- D () Não acessível.

07. O uso do transferidor acoplado ao aparato permitiu que você visualizasse com clareza a variação do ângulo necessária para o bloco começar a deslizar?

- A () Sim, totalmente.
- B () Sim, em parte.
- C () Tive dificuldade na leitura.
- D () Não consegui visualizar.

08. Qual sua opinião sobre a combinação de experimentos com o uso do sistema hidráulico (seringas)?

- A () Muito positiva.
- B () Positiva.
- C () Indiferente.
- D () Negativa.

09. Como as atividades investigativas impactaram sua motivação para estudar os conceitos de forças?

- A () Aumentaram muito.
- B () Aumentaram.
- C () Não impactaram.
- D () Diminuíram.

10. Você gostaria que outros conteúdos de Física fossem ensinados com kits experimentais semelhantes?

- A () Sim, com certeza.
- B () Não, prefiro aulas teóricas.
- C () Não, acho cansativo.
- D () Não tenho opinião.