



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO - UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS DE SÃO BERNARDO - CCSB
LICENCIATURA EM CIÊNCIAS NATURAIS – QUÍMICA

ANTÔNIO RODRIGUÊS DOS SANTOS

BARBANTES E POLIAS:
SIMULANDO MÁQUINAS SIMPLES PARA O ENSINO DE MECÂNICA PARA
ALUNOS COM DEFICIÊNCIA VISUAL.

SÃO BERNARDO (MA)
2025

ANTÔNIO RODRIGUÊS DOS SANTOS

BARBANTES E POLIAS:
SIMULANDO MÁQUINAS SIMPLES PARA O ENSINO DE MECÂNICA PARA
ALUNOS COM DEFICIÊNCIA VISUAL.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Licenciatura em Ciências
Naturais/Química, da Universidade Federal do
Maranhão – UFMA, no Centro de Ciências de São
Bernardo - CCSB, como requisito institucional para
obtenção do título de Licenciado em Ciências
Naturais/Química.

Orientador: Prof. Dr. Josberg Silva Rodrigues.

SÃO BERNARDO (MA)
2025

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Rodriguês dos Santos, Antônio.

BARBANTES E POLIAS: : SIMULANDO MÁQUINAS SIMPLES PARA O
ENSINO DE MECÂNICA PARA ALUNOS COM DEFICIÊNCIA VISUAL /
Antônio Rodriguês dos Santos. - 2025.

41 p.

Orientador(a): Prof. Dr. Josberg Silva Rodrigues.
Monografia (Graduação) - Curso de Ciências Naturais -
Química, Universidade Federal do Maranhão, São Bernardo-
ma, 2025.

1. Educação Inclusiva. 2. Ensino de Física. 3.
Materiais Adaptados. 4. Roldanas e Polias Táteis. 5.
Braille. I. Silva Rodrigues, Prof. Dr. Josberg. II.
Título.

ANTÔNIO RODRIGUÊS DOS SANTOS

**BARBANTES E POLIAS:
SIMULANDO MÁQUINAS SIMPLES PARA O ENSINO DE MECÂNICA PARA
ALUNOS COM DEFICIÊNCIA VISUAL.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Licenciatura em Ciências
Naturais/Química, da Universidade Federal do
Maranhão – UFMA, no Centro de Ciências de São
Bernardo - CCSB, como requisito institucional para
obtenção do título de Licenciado em Ciências
Naturais/Química.

Orientador: Prof. Dr. Josberg Silva Rodrigues.

Aprovado em: 04/08/ 2025

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
JOSBERG SILVA RODRIGUES
Data: 06/08/2025 16:32:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Josberg Silva Rodrigues (Orientador)
Doutor em Física Teórica – UFMA
UFMA – Campus São Bernardo



Documento assinado digitalmente
MARIA DO SOCORRO EVANGELISTA GARRETO
Data: 06/08/2025 18:25:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Maria do Socorro Evangelista Garreto
Doutora em Ciência e Tecnologia de Polímeros – UFRJ
UFMA – Campus São Bernardo



Documento assinado digitalmente
LOUISE LEE DA SILVA MAGALHÃES
Data: 06/08/2025 18:53:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Louise Lee da Silva Magalhães
Doutora em Ciências, UNICAMP - SP
UFMA – Campus São Bernardo

À minha querida mãe e ao meu Avô (in memoriam), por me ensinar o valor da educação. Aqui estão os resultados dos seus esforços.

Com muito amor e gratidão.

À querida amiga saudosa Profa Me Keliane Pimentel, pelos seus incentivos e conselhos.

Ninguém caminha sem aprender à caminhar, sem aprender a fazer o caminho caminhado, refazendo e retocando o sonho pelo o qual se pôs a caminhar

Paulo Freire

A educação é a arma mais poderosa que você pode usar para mudar o mundo.

Nelson Mandela

A educação tem raízes amargas, mas os seus frutos são doces.

Aristóteles

Resumo

Esta pesquisa tem como objetivo desenvolver e avaliar um kit experimental adaptado para o ensino de conceitos de mecânica (sistemas de roldanas) a estudantes com deficiência visual, utilizando materiais de baixo custo e acessíveis, como barbantes e polias táteis confeccionadas com madeira. A proposta visa facilitar a compreensão de fenômenos físicos por meio da experimentação tátil, permitindo que os alunos vivenciem conceitos como força, tensão, força peso, aceleração entre outras grandezas. Além disso, o trabalho emprega o *software Monet* para a produção de diagramas em braile, complementando a aprendizagem com representações gráficas adaptadas.

O referencial teórico abrange desde a história da educação especial no Brasil até metodologias ativas no ensino de Física, destacando a importância do sistema Braille e do Instituto Benjamin Constant (IBC) na produção de materiais didáticos adaptados. A metodologia incluiu: levantamento bibliográfico sobre estratégias de ensino inclusivo, elaboração de materiais adaptados (plataformas táteis com barbantes e polias) e desenvolvimento de figuras em braile.

Os resultados sugerem que a abordagem prática e sensorial facilita a compreensão de conceitos abstratos, como soma vetorial, Leis de Newton e suas aplicações, permitindo que alunos com deficiência visual percebam as relações físicas por meio da manipulação direta dos materiais. Conclui-se que a metodologia proposta pode ser replicada em outros contextos educacionais, contribuindo para a inclusão efetiva no ensino de Física.

Palavras Chaves: Educação inclusiva; Ensino de Física; Materiais adaptados; Roldanas e polias táteis; Braille.

Abstract

This study aims to develop and evaluate an adapted experimental kit for teaching mechanics concepts (vectors and pulley systems) to visually impaired students, using low-cost and accessible materials such as strings and tactile pulleys. The approach seeks to facilitate the understanding of physical phenomena through tactile experimentation, allowing students to experience concepts like force, work, and power in a concrete way. Additionally, the work employs the Monet software to produce braille diagrams, complementing learning with adapted graphical representations.

The theoretical framework covers the history of special education in Brazil, active methodologies in Physics teaching, and the importance of the Braille system and the Benjamin Constant Institute (IBC) in producing adapted didactic materials. The methodology included: a literature review on inclusive teaching strategies, the development of adapted materials (tactile platforms with strings and pulleys), and the creation of braille figures

The results suggest that the practical and sensory approach enhances the understanding of abstract concepts, such as vector addition and Newton's Laws, enabling visually impaired students to grasp physical relationships through direct manipulation of materials. It is concluded that this methodology can be replicated in other educational contexts, promoting effective inclusion in Physics education.

Keywords: Inclusive education; Physics teaching; Adapted materials; Tactile pulleys; Braille.

Lista de Figuras

Figura 1	Retrato gravura de Louis Braille	15
Figura 2	Fachada do prédio do Instituto Benjamin Constant – RJ	16
Figura 3	Representação gráfica de vetores	18
Figura 4	Representação gráfica com relevo de vetores.....	18
Figura 5	Representação gráfica da soma de dois vetores	19
Figura 6	Representação gráfica com relevo da soma de dois vetores	20
Figura 7	Representação gráfica da subtração de dois vetores	21
Figura 8	Representação gráfica com relevo da subtração de dois vetores ...	21
Figura 9	Representação gráfica com relevo do produto de um vetor com um escalar	22
Figura 10	Roldana fixa ideal	26
Figura 11	Roldana móvel	27
Figura 12	Talha exponencial com 2 roldanas móveis	28
Figura 13	Máquina de Atwood básica	29
Figura 14	Máquina de Atwood em Braile	29
Figura 15	Sistema de roldanas	30
Figura 16	Aparato de Madeira com duas Roldanas Fixas	31
Figura 17	Experimento com uma Roldana Fixa	32
Figura 18	Experimento com uma Roldana Fixa e uma Móvel	32
Figura 19	Experimento com uma Roldana Fixa e duas Móvel	34
Figura 20	Sistema com Roldanas de massa variável	35

Lista de Abreviaturas

LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
IBC	Instituto Benjamin Constant
MEC	Ministério da Educação
PNE	Plano Nacional de Educação

Sumário

1	Introdução	11
2	Referencial Teórico	12
2.1	Educação Especial	12
2.2	O Braille	14
2.3	O Projeto Benjamin Constant	16
2.4	O Ensino de Física para Deficientes Visuais	17
2.5	Vetores	17
2.5.1	Conceitos Básicos	17
2.6	Segmento Orientado	17
2.7	Vetor	18
2.8	Operações com Vetores	19
2.9	Soma de Vetores	19
2.9.1	Regras para Soma de Vetores	20
2.10	Diferença de Vetores	20
2.11	Produto de um Número Real por um Vetor	21
2.12	Leis de Newton	22
2.13	Primeira Lei: Princípio da Inércia	22
2.14	Segunda Lei: Princípio Fundamental da Dinâmica	23
2.15	Terceira Lei: Princípio da Ação e Reação	23
2.16	Sistemas de Massa Variável	24
2.17	Formulação Hamiltoniana	24
2.17.1	Formulação Lagrangiana	24
3	Metodologia	25
3.1	Elaboração e Confeção dos Materiais Adaptados	25
3.2	Desenvolvimento dos Materiais Didáticos	25
4	Resultados e Discussão	26
4.1	Aplicação da Lei de Newton em Roldanas	26
4.1.1	Roldana Fixa (Mudança de Direção)	26
4.1.2	Roldana Móvel (Vantagem Mecânica)	27
4.1.3	Talha Exponencial (Associação de Roldanas)	27
4.1.4	Máquina de Atwood	29
4.1.5	Sistema com Múltiplas Roldanas Móveis e Fixas	30
4.2	Roldanas com massas desprezíveis	31
4.3	Roldanas com massas diferentes de zero	32
4.3.1	Equações de Movimento	33

4.3.2	Solução do Sistema	33
4.3.3	Tensões nos Fios	33
5	Conclusão	37
6	Referências	40

1 Introdução

A educação inclusiva é um tema de grande relevância no cenário educacional contemporâneo, especialmente no que diz respeito ao ensino de ciências para pessoas com deficiência visual. Historicamente, a educação especial no Brasil passaram por diversas transformações, desde a exclusão total até políticas mais inclusivas, como a Lei Brasileira de Inclusão (Lei 13.146/2015) e a Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva (MEC, 2008). No entanto, ainda existir desafios significativos na adaptação de metodologias e materiais didáticos que permitam o acesso pleno de estudantes com deficiência visual ao conhecimento científico, particularmente no ensino de Física.

Esta monografia tem como objetivo desenvolver um kit experimental adaptado para o ensino de conceitos de mecânica, especificamente sobre vetores e sistemas de roldanas, utilizando materiais de baixo custo e acessíveis, como barbantes e polias táteis. A proposta buscar facilitar a compreensão de fenômenos físicos por meio da experimentação tátil, permitindo que alunos com deficiência visual vivencia conceitos como vetores, forças, acelerações de forma concreta. Além disso, o trabalho utiliza o software Monet para a produção de diagramas em braille, complementando a aprendizagem por meio de representações gráficas adaptadas.

O referencial teórico que embasa esta pesquisa abrangem desde a história da educação especial no Brasil (MAZZOTTA, 1996; JANNUZZI, 2012) até as metodologias ativas no ensino de Física (CARVALHO, 1998; GIL, 1999). Destaca-se também a importância do sistema Braille, criado por Louis Braille no século XIX, como ferramenta fundamental para a alfabetização e autonomia de pessoas cegas (DUBLIN, 2008). Além disso, são abordadas as contribuições do Instituto Benjamin Constant (IBC) na produção de materiais didáticos adaptados e na formação de professores especializados (GARCIA LIMA, 2018; ALMEIDA, 2019).

A metodologia adotada neste trabalho divide em três etapas principais: (1) levantamento bibliográfico sobre estratégias de ensino inclusivo, (2) elaboração e confecção de materiais adaptados (como plataformas táteis com barbantes e polias) e (3) desenvolvimento de diagramas em braille utilizando o software Monet. Os experimentos foi testados em situações variadas, incluindo a Máquina de Atwood e sistemas com múltiplas roldanas, tanto em configurações ideais (massas desprezíveis) quanto em situações mais complexas (considerando a massa das polias).

Os resultados obtidos demonstra que a abordagem prática e sensorial podem facilitar a compreensão de conceitos abstratos, como a soma de vetores e as Leis de Newton, podendo permitir que alunos com deficiência visual percebam as relações físicas por meio da manipulação direta dos materiais. Espera-se que esta metodologia possa ser replicada em outros contextos educacionais, contribuindo para a inclusão efetiva de estudantes com

deficiência visual no ensino de Física.

Por fim, esta pesquisa reforçar a importância de políticas públicas que incentiva a produção de recursos didáticos acessíveis e a formação continuada de professores, conforme apontado por autores como Mantoan (2015) e Kassar (2021). Acreditamos que a educação inclusiva não se limitam à matrícula de alunos com deficiência, mas sim à garantia de que eles tem oportunidades reais de aprendizagem e participação plena no ambiente escolar.

2 Referencial Teórico

2.1 Educação Especial

A educação inclusiva tem suas raízes no período do Iluminismo na Europa, período este em que filósofos e educadores passaram a questionar a exclusão de grupos que viviam à margem da sociedade. Nesse contexto, surgiram propostas educacionais inovadoras, como as de Lepelletier e Condorcet, que defendiam uma educação igualitária para todas as crianças (MANACORDA, 2000; ROSA, 1982). Paralelamente, foram criadas as primeiras escolas especiais para cegos e surdos (MAZZOTTA, 1996). O fortalecimento dos direitos humanos alavancou o ideal de uma educação para todos, dando origem à educação especial, ainda que inicialmente de forma segregada.

No Brasil, a educação de pessoas com deficiência passou por diversas transformações ao longo dos séculos, refletindo mudanças sociais, culturais e políticas. A trajetória histórica vai desde a exclusão total até os debates contemporâneos sobre inclusão plena, revelando avanços importantes, mas também desafios e resistências que persistem. Este estudo percorre as principais fases dessa evolução, destacando marcos legais, políticas públicas e seus impactos na vida das pessoas com deficiência.

Durante os períodos colonial e imperial, pessoas com deficiência eram frequentemente abandonadas, excluídas, isoladas em instituições religiosas ou mantidas à margem da sociedade. No entanto, a partir do século XIX, influenciado por movimentos europeus, o Brasil iniciou a criação de instituições especializadas. Exemplos significativos são a fundação do Imperial Instituto dos Meninos Cegos em 1854, hoje Instituto Benjamin Constant, e a criação do Imperial Instituto de Surdos-Mudos em 1857, atualmente Instituto Nacional de Educação de Surdos (INES). Embora representassem avanços em relação ao abandono, essas instituições reforçavam a segregação, pois mantinham os alunos afastados do ensino regular (JANNUZZI, 2012).

Até meados do século XX, predominava a concepção de que pessoas com deficiência deveriam ser educadas em ambientes separados. Escolas especiais foram sendo criadas, mas sem conexão com o sistema de ensino comum. A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB 4.024/1961) mencionava a educação de "excepcionais", porém não asse-

gurava igualdade de acesso (BRASIL, 1961).

Nas décadas de 1960 a 1980, o país passou a adotar um modelo de integração educacional. Reformas educacionais desse período introduziram a ideia de que alunos com deficiência poderiam frequentar escolas regulares, desde que se adaptassem ao sistema. No entanto, a presença de classes especiais dentro das escolas comuns mantinha a segregação, e somente estudantes considerados "aptos" eram incluídos nas turmas regulares (BUENO, 2011). Esse modelo foi alvo de críticas, como as de Mantoan (2015), que apontava a ineficácia da integração por exigir que o aluno se adaptasse à escola, sem que esta se transformasse para acolhê-lo adequadamente. Além disso, a escassez de recursos pedagógicos e a falta de formação adequada dos professores dificultavam a implementação de um atendimento eficaz.

A década de 1990 marcou a transição para o paradigma da inclusão. A partir da Constituição Federal de 1988, o Brasil passou a adotar políticas mais inclusivas. Entre os principais marcos legais estão a Lei 7.853/1989, que garante o acesso à educação especial, o Estatuto da Criança e do Adolescente (1990), que assegura o direito à educação inclusiva, e a Declaração de Salamanca (1994), que influenciou políticas globais de inclusão. A nova Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB 9.394/1996) passou a considerar a educação especial como parte integrante do sistema educacional. Um marco fundamental foi a promulgação da Convenção Internacional sobre os Direitos da Pessoa com Deficiência, ratificada pelo Congresso Nacional, que deu origem à Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015, conhecida como Estatuto da Pessoa com Deficiência (BRASIL, 2015). Esta lei institui normas gerais e específicas para garantir os direitos das pessoas com deficiência, assegurando e promovendo, em condições de igualdade, o exercício dos direitos e das liberdades fundamentais, visando à sua inclusão social e cidadania (art. 1º). A Lei define acessibilidade como a possibilidade e condição de alcance, com segurança e autonomia, de espaços, mobiliários, equipamentos urbanos, edificações, transportes, informação e comunicação, abrangendo também os conceitos de desenho universal, tecnologia assistiva e barreiras (art. 3º). A acessibilidade é reconhecida como um direito fundamental que garante à pessoa com deficiência viver de forma independente e exercer seus direitos de cidadania e de participação social (art. 53). Além disso, a Lei assegura a oferta de um sistema educacional inclusivo em todos os níveis e modalidades, com atendimento educacional especializado e profissionais de apoio (BRASIL, 2015). A LDBEN (Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional), em seu art. 58, determina que o atendimento especializado deve ocorrer preferencialmente na escola regular, garantindo a inclusão (BRASIL, 1996). A educação inclusiva está fundamentada nos princípios da Declaração de Salamanca (Unesco, 1994), que defende o direito de todos à educação (DINIZ; SOUSA, 2020). A implementação efetiva depende de políticas públicas que garantam igualdade de acesso e permanência na escola, disponibilizando atendimento educacional especializado e formação de professores (BRASIL, 2010; LOUREIRO; SILVA, 2021; PADILHA, 2004).

O avanço da educação inclusiva requer que o professor da escola regular seja devidamente capacitado para receber esse novo alunado (PADILHA, 2004).

Apesar dos avanços legais, muitos desafios ainda impedem a efetivação da inclusão. A falta de infraestrutura nas escolas, a formação docente ainda insuficiente e a resistência cultural — marcada por preconceitos e falta de conscientização — dificultam a consolidação de uma educação verdadeiramente inclusiva (KASSAR, 2021).

Entre 2020 e 2025, o cenário trouxe novos desafios e oportunidades. A pandemia de COVID-19 acentuou desigualdades, especialmente no ensino remoto, deixando muitos estudantes com deficiência sem acesso devido à ausência de adaptações adequadas (UNICEF, 2022). Por outro lado, políticas públicas como o Novo Fundeb (2020) e o Plano Nacional de Educação (PNE 2014-2024) buscaram ampliar os recursos destinados à educação inclusiva, contribuindo para a consolidação de práticas mais equitativas.

A história da educação especial no Brasil reflete uma evolução gradual da exclusão para a inclusão. No entanto, ainda há muito a ser feito para que os direitos educacionais das pessoas com deficiência sejam plenamente garantidos. Investimentos em infraestrutura, formação docente e transformação cultural são fundamentais. Como afirma Mendes (2023), "inclusão não é apenas matricular, é garantir aprendizagem e participação plena".

2.2 O Braille

Louis Braille ficou cego aos 5 anos, mas isso não impediu ele de ser um aluno incrível. Com o apoio dos pais (que sabiam ler e escrever e valorizavam a educação), ele conseguiu uma bolsa na Royal Institution for Young Blind People, fundada por Valentin Haüy em 1785. Lá, ele se destacou, mas o lugar era sujo e sem ventilação, e ele acabou pegando tuberculose (FERREIRA).

Figura 1: Retrato gravura de Louis Braille



Fonte: <https://www.meisterdrucke.fr/fine-art-prints/French-School/419979/Portrait-de-Louis-Braille.html>

Com 12 anos, ele conheceu o sistema de sonografia de Charles Barbier, que usava pontos pra representar sons, mas não era muito prático. Louis teve várias ideias pra melhorar, mas Barbier, que nem era cego, não quis ouvir (MOURA). Então, Braille decidiu criar seu próprio método e, aos 16 anos (1825), já estava quase terminando. Em 1827, ele adaptou o sistema pra escrita e música, e em 1829 publicou o livro "Processo para escrever palavras, música e cantochão usando pontos", oficializando o Braille (MEC).

O alfabeto Braille era fácil de aprender e deu acesso aos cegos a livros, música e conhecimento. Mas no começo, teve resistência – entre 1840 e 1850, houve até uma "crise do Braille" quando tentaram limitar seu uso só pra música (). Só depois de 1847 que o sistema virou sucesso mundial.

"Antes do Braille, os cegos eram analfabetos funcionais. Depois dele, puderam conquistar autonomia" (DUBLIN, 2008, p.47)".

Infelizmente, Louis Braille não aproveitou muito a fama. Ele sofria de tuberculose e parou de ensinar em 1844. Em 1851, ele morreu por causa da doença, mas seu legado ficou. Helen Keller, uma ativista surda-cega, disse: "Nós, cegos, devemos tanto a Braille quanto a humanidade deve a Gutenberg O sistema Braille é um método de leitura e escrita tátil utilizado por pessoas com deficiência visual. Desenvolvido por Louis Braille no século XIX, o sistema baseia-se em células de seis pontos que representam letras, números e símbolos. A utilização do Braille no ensino de física permite que os alunos com deficiência visual acessem informações teóricas e práticas de forma autônoma, promovendo a inclusão e a igualdade de oportunidades no ambiente educacional.

2.3 O Projeto Benjamin Constant

O Instituto Benjamin Constant (IBC) é uma instituição brasileira de referência na educação e inclusão de pessoas com deficiência visual ou baixa visão. Localizado no Rio de Janeiro, foi fundado em 1854 por Dom Pedro II, inicialmente com o nome de Imperial Instituto dos Meninos Cegos. Sua criação foi um marco na história da educação especial no Brasil, pois representou um dos primeiros esforços sistemáticos para oferecer escolarização e profissionalização para cegos (Brasil, 2020).

Figura 2: Fachada do prédio do Instituto Benjamin Constant - RJ



Fonte: <https://www.facebook.com/photo/?fbid=599790942275126set=a.599790912275129>

O instituto surgiu a partir da inspiração em modelos europeus, especialmente o Instituto Real dos Jovens Cegos de Paris, onde o brasileiro José Álvares de Azevedo, que era cego, estudou. Ao retornar ao Brasil, Azevedo lutou pela criação de uma instituição semelhante no país, o que acabou se concretizando com o apoio do imperador (Almeida, 2019). O nome "Benjamin Constant" foi adotado em 1890, em homenagem ao militar e político republicano que contribuiu para a educação no Brasil.

Ao longo do tempo, o IBC passou por várias transformações, acompanhando as mudanças nas políticas educacionais e nas metodologias de ensino para pessoas com deficiência visual. No começo, o foco era o ensino de ofícios, como música, artesanato e trabalhos manuais, mas, com o passar do tempo, o instituto passou a oferecer escolarização formal, seguindo o currículo básico nacional (IBC, 2021).

Uma das grandes contribuições do IBC foi a produção de materiais didáticos adaptados, como livros em braille, que permitiram a alfabetização e o acesso ao conhecimento

dos alunos cegos. Além disso, o instituto foi pioneiro na formação de professores especializados em educação especial, capacitando profissionais para atuar em todo o país (Garcia Lima, 2018).

No século XX, o IBC enfrentou desafios, como a falta de recursos e a necessidade de modernização. Mesmo assim, continuou sendo uma referência, principalmente após a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) de 1996, que reforçou a importância da inclusão escolar. O instituto se adaptou às novas demandas, passando a oferecer não só ensino básico, mas também cursos técnicos e programas de reabilitação (Brasil, 2020).

Hoje em dia, o IBC funciona como um centro de excelência, oferecendo desde a educação infantil até o ensino médio, além de cursos profissionalizantes e atividades culturais. Eles também são responsáveis pela produção e distribuição de livros em braille e outros recursos pedagógicos para escolas públicas de todo o Brasil (IBC, 2021).

Mesmo com os avanços, ainda tem desafios, como a necessidade de mais investimentos em tecnologia assistiva e a ampliação do acesso aos serviços do instituto. Ainda assim, o IBC continua sendo um símbolo de resistência e inovação na educação inclusiva. Como um futuro licenciado em Química, eu vejo a importância de instituições como essa, que mostra como a educação pode ser adaptada para atender a todos, sem importar suas limitações físicas.

2.4 O Ensino de Física para Deficientes Visuais

O ensino de física para alunos com deficiência visual requer abordagens pedagógicas que priorizem a experiência tátil e cinestésica. A falta de recursos adaptados e a dependência de descrições visuais são obstáculos comuns. No entanto, a utilização de materiais didáticos táteis, como polias e barbantes, pode facilitar a compreensão de conceitos físicos, que podem permitir que os alunos percebam as relações entre grandezas como vetoriais como aceleração e força por meio da manipulação direta dos materiais.

2.5 Vetores

Vetores são entes matemáticos que representam grandezas físicas que possuem direção, sentido e módulo ou intensidade. Eles são cruciais para o estudo de grandezas como deslocamento, velocidade, aceleração, força, impulso e quantidade de movimento e outras.

2.5.1 Conceitos Básicos

2.6 Segmento Orientado

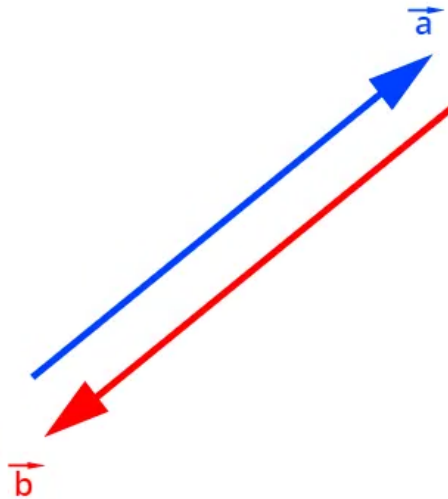
Um segmento orientado é um segmento de reta com uma direção e um sentido definidos, em que temos a origem e a extremidade. Ele é caracterizado por:

- **Direção:** Posição no espaço determinada pela reta-suporte do segmento.
- **Sentido:** Indicado pela orientação do segmento (de A para B ou de B para A).
- **Módulo:** Número real positivo ou nulo que representa o comprimento do segmento.

2.7 Vetor

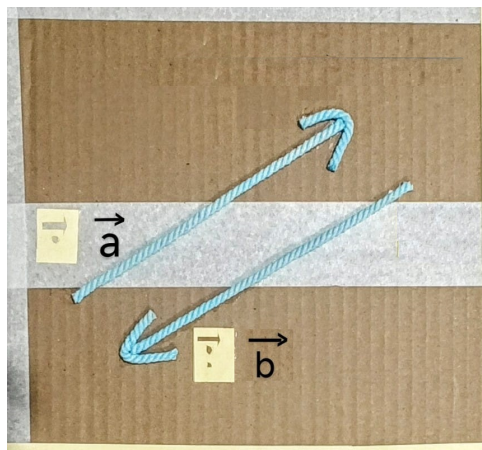
Um vetor é um ente matemático representado por um segmento orientado, caracterizado por direção, sentido e módulo. Exemplos de vetores incluem deslocamento ($\vec{d}$), velocidade ($\vec{v}$), aceleração ($\vec{a}$) e força ($\vec{F}$).

Figura 3: Representação gráfica de vetores



Fonte: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/vetores.htm>

Figura 4: Representação gráfica de vetores com relevo



Fonte: Autoria própria

Diagrama tátil representando vetores como segmentos orientados em relevo, com indicação tátil de direção e sentido. Os vetores $\vec{a}$ e $\vec{b}$ são mostrados como barbantes colados sobre base de isopor, com extremidades em braille indicando origem (ponto inicial) e término (ponto final). O módulo é representado pelo comprimento físico dos segmentos ($\vec{a}$ e $\vec{b}$), mensurável por régua adaptada.

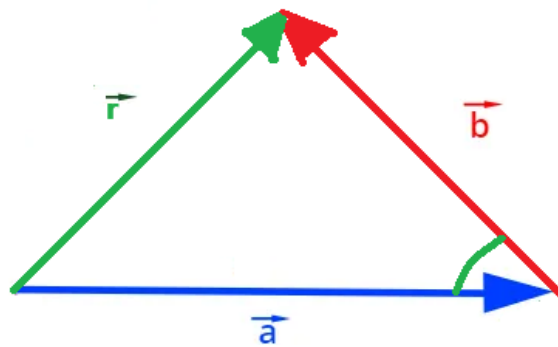
2.8 Operações com Vetores

2.9 Soma de Vetores

A soma de dois vetores $\vec{a}$ e $\vec{b}$ que formam um ângulo θ entre si é dada por:

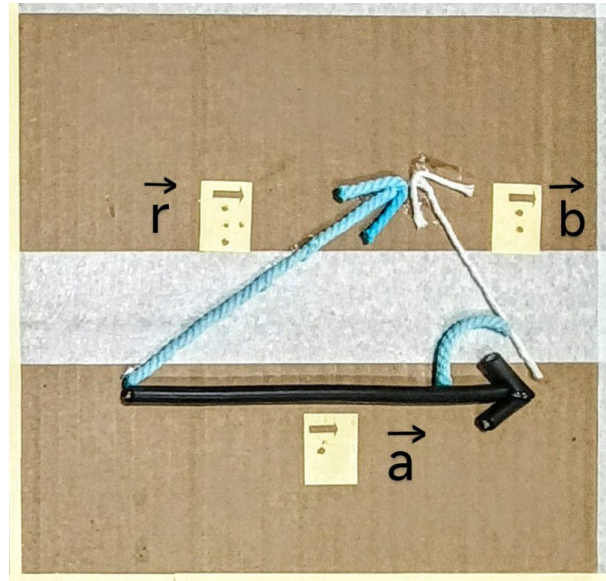
$$\vec{R} = \vec{a} + \vec{b}$$

Figura 5: Representação gráfica da soma de vetores com relevo



Fonte: Figura adaptada de <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/vetores.htm>

Figura 6: Representação gráfica com relevo da soma de dois vetores



Fonte: Autoria própria

Representação tátil da regra do paralelogramo para soma vetorial. Dois vetores $\vec{a}_1$ e $\vec{b}_2$ (barbantes de cores respectivamente preto e branco) formando ângulo α são fixados numa base de papelão. O vetor resultante $\vec{r}$ (barbante azul texturizado) é a diagonal do paralelogramo, com magnitude. Etiquetas em braille identificam cada vetor e o ângulo entre eles.

O módulo do vetor resultante $\vec{r}$ é calculado por:

$$|\vec{r}| = \sqrt{|\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2 + 2 \cdot |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \cos \theta}$$

2.9.1 Regras para Soma de Vetores

- **Regra do Paralelogramo:** Junte as origens dos vetores e feche um paralelogramo. O vetor resultante é a diagonal do paralelogramo.
- **Regra do Polígono Fechado:** Ligue os segmentos orientados dos vetores consecutivamente e feche o polígono com o vetor resultante.

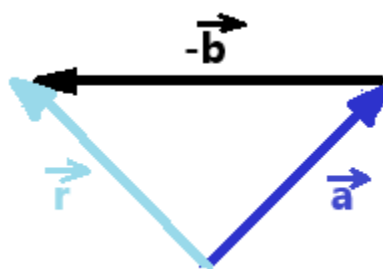
2.10 Diferença de Vetores

A diferença entre dois vetores $\vec{a}$ e $\vec{b}$ é dada por:

$$\vec{R} = \vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b})$$

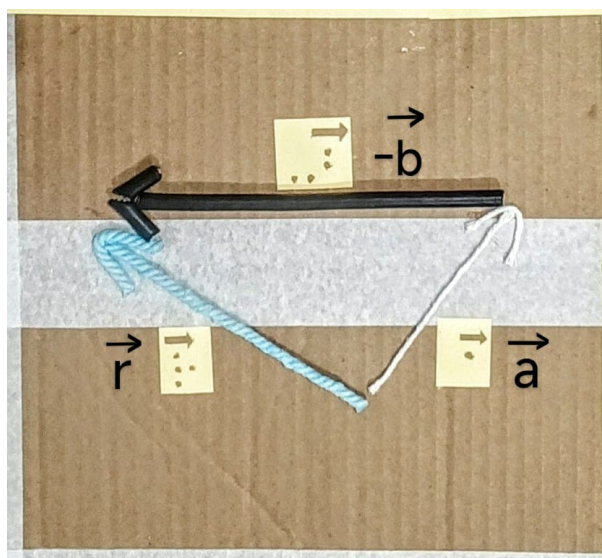
Modelo tátil de subtração vetorial $\vec{a} - \vec{b}$. O vetor $-\vec{b}$ é representado por um barbante com textura diferenciada, mantendo mesma intensidade e direção porém sentido oposto

Figura 7: Representação gráfica da subtração de dois vetores



Fonte: Autoria própria

Figura 8: Representação gráfica com relevo da subtração de dois vetores



Fonte: Autoria própria

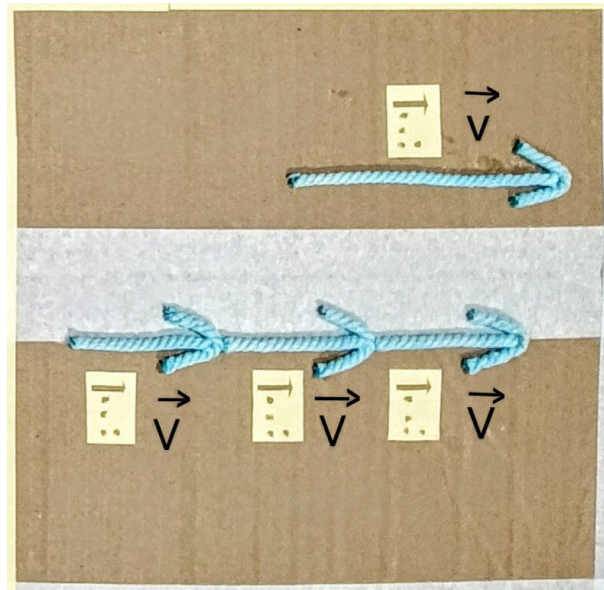
ao original. Base em papelão reciclado com grid tátil para referência espacial.

2.11 Produto de um Número Real por um Vetor

O produto de um número real n por um vetor $\vec{v}$ é dado por:

$$\vec{p} = n \cdot \vec{v}$$

Figura 9: Representação gráfica do produto de um vetor com um escalar com relevo



Fonte: Autoria própria

Demonstração tátil do produto $3\vec{v}$. O vetor original $\vec{v}$ (barbante azul rugoso) e seu múltiplo $3\vec{v}$ (também barbante azul rugoso superpostos) são dispostos um seguido do outro sobre uma base de papelão. As setas proporcionam referência tátil de sentido, enquanto poderíamos colocar valores em braille indicam os fatores de escala.

As características do novo vetor $3\vec{v}$ são:

- **Direção:** A mesma de $\vec{v}$.
- **Sentido:** O mesmo de $\vec{v}$ se $n > 0$, ou oposto se $n < 0$.
- **Módulo:** $|3\vec{v}| = |n| \cdot |\vec{v}|$.

2.12 Leis de Newton

As Leis de Newton, elaboradas por Sir Isaac Newton em seu trabalho *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1687), constituem a base da mecânica clássica. Sua formulação foi possível graças aos trabalhos predecessores de Galileu e outros cientistas que, nas palavras do próprio Newton, "enxergou mais longe ao se apoiar em ombros de gigantes".

Nessa seção, abordaremos as três leis com ênfase na formulação introduzida por Newton, em que a força é entendida como a variação temporal do momento linear ou quantidade de movimento.

2.13 Primeira Lei: Princípio da Inércia

A Primeira Lei de Newton estabelece que:

“Um corpo permanece em seu estado de repouso ou movimento retilíneo uniforme (MRU), a menos que seja compelido a mudar seu estado por forças impressas nele.”

Matematicamente, podemos expressar para um sistema isolado ($\vec{F} = 0$):

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = 0 \implies \vec{p} = \text{constante} \quad (1)$$

onde $\vec{p} = m\vec{v}$ é o momento linear. Esta formulação é mais geral que a versão clássica ($\vec{v} = \text{constante}$), pois é válida mesmo para sistemas com massa variável.

2.14 Segunda Lei: Princípio Fundamental da Dinâmica

A Segunda Lei fornece a relação quantitativa entre força e movimento:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (2)$$

Esta é a forma correta e geral da Segunda Lei. Para sistemas de massa constante, recuperamos a expressão familiar:

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a} \quad (3)$$

Alguns pontos importantes:

- A equação (2) é válida para sistemas com massa variável (ex.: foguetes)
- É uma equação vetorial, válida componente a componente
- Em sistemas de partículas, $\vec{F}$ representa a força resultante

2.15 Terceira Lei: Princípio da Ação e Reação

A Terceira Lei estabelece que:

“Para toda ação há sempre uma reação oposta e de igual intensidade.”

Em termos de momento linear, para duas partículas em interação:

$$\frac{d\vec{p}_1}{dt} = -\frac{d\vec{p}_2}{dt} \quad (4)$$

ou seja, as forças de interação satisfazem $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$.

2.16 Sistemas de Massa Variável

Para um foguete que perde massa enquanto se move, a equação do movimento é:

$$\vec{F}_{\text{ext}} + \vec{v}_{\text{rel}} \frac{dm}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (5)$$

onde $\vec{v}_{\text{rel}}$ é a velocidade dos gases expelidos em relação ao foguete.

2.17 Formulação Hamiltoniana

Na mecânica avançada, as Leis de Newton podem ser derivadas do princípio variacional:

$$\delta \int L(\vec{q}, \dot{\vec{q}}, t) dt = 0 \quad (6)$$

onde $L = T - V$ é a lagrangiana do sistema.

As Leis de Newton, quando formuladas em termos de momento linear, revelam-se ferramentas poderosas para a análise de sistemas mecânicos tanto clássicos quanto modernos. A abordagem diferencial aqui apresentada permite tratar desde problemas elementares até sistemas complexos com massa variável, servindo de ponte para formulações mais avançadas da mecânica.

2.17.1 Formulação Lagrangiana

A formulação Lagrangiana da mecânica clássica fornece uma abordagem poderosa e elegante para a análise de sistemas mecânicos. A Lagrangiana L é definida como:

$$L = T - V \quad (7)$$

em que T é a energia cinética e V é a energia potencial do sistema. As equações de movimento são obtidas através do princípio de Hamilton:

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} L(\vec{q}, \dot{\vec{q}}, t) dt = 0 \quad (8)$$

que leva às equações de Euler-Lagrange:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0 \quad (9)$$

para $i = 1, 2, \dots, n$. Em que os q_i são as coordenadas generalizadas e $\dot{q}_i$ são as velocidades generalizadas.

Para um sistema de roldanas, a Lagrangiana pode ser escrita em termos das coordenadas generalizadas apropriadas (como os deslocamentos das massas), viabilizando uma derivação sistemática das equações de movimento.

3 Metodologia

O desenvolvimento deste trabalho foi dividido em três etapas principais, com o objetivo de criar um kit experimental acessível sobre polias, utilizando barbante para representar vetores e o software Monet para a produção de figuras em braille.

Primeiramente, foi conduzido um levantamento de referências para identificar materiais e metodologias já empregados no ensino de Física para estudantes com deficiência visual. Essa etapa permitiu a seleção de estratégias eficazes e a adaptação de conceitos físicos, como vetores e leis de Newton e suas aplicações, para uma abordagem tátil e de fácil acesso.

3.1 Elaboração e Confecção dos Materiais Adaptados

Foram produzidos recursos didáticos de baixo custo, utilizando materiais como:

Cartolinas, Cola quente, folhas de isopor e papel cartão para a construção de bases e superfícies.

O experimento consistiu em uma plataforma retangular feita de papel e isopor, onde colamos barbantes para representar a soma, a subtração, multiplicação por escalar de dois vetores com variados ângulos formado entre eles.

Para representar o estudo de polias primeiramente fizemos uma revisão de vetores seguida das Leis de Newton (primeira, segunda e terceira Lei).

Em outra atividade, utilizamos de tamanhos distintos, demonstrou-se a Terceira Lei de Newton (Ação e Reação), mostrando que as forças atuam em pares com mesma intensidade e direção, mas em sentidos opostos.

Além disso, cubos de isopor e palitos de churrascos identificados com etiquetas em braille (indicando peso, normal e tração) permitiram a visualização tátil da separação das forças atuantes em um corpo.

3.2 Desenvolvimento dos Materiais Didáticos

Foram construídos sistemas de polias com diferentes configurações (simples e compostas), utilizando barbantes, roldanas e pesos. Além disso, foram criados guias táteis que explicam a função e o funcionamento das polias, bem como os conceitos de vetores, aceleração e forças.

Com nosso aparato de polias em mãos fizemos várias situações como; a máquina de atwood, sistema com duas, tres, quatro e cinco polias.

Fizemos inicialmente com polias de massa desprezíveis e em seguida com as polias confeccionadas de madeira fizemos levando em conta a massa (problema de massa variável).

Após a confecção, os experimentos foram testados para assegurar sua eficácia na explicação dos conceitos físicos, garantindo que fossem intuitivos e acessíveis para alunos

com deficiência visual. O uso do *software Monet* foi essencial para a geração de diagramas em braille, complementando o aprendizado por meio de representações táteis.

Dessa forma, o kit desenvolvido integra conceitos de vetores, forças (representados por barbantes) e aplicações das leis de Newton da mecânica, mas especificamente o estudo de Polias proporcionando uma experiência hands-on que pode facilitar a compreensão dos fenômenos físicos de maneira inclusiva.

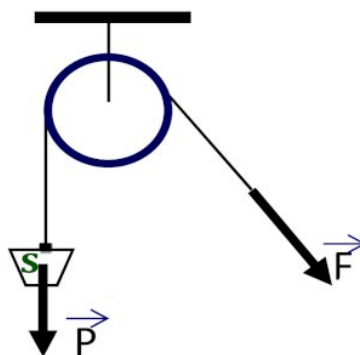
4 Resultados e Discussão

4.1 Aplicação da Lei de Newton em Roldanas

As roldanas são máquinas simples que permitem a mudança de direção de uma força aplicada. A aplicação das Leis de Newton em sistemas de roldanas envolve a análise das forças de tensão no barbante e das forças de reação nas roldanas. A utilização de roldanas simples e compostas permite a redução do esforço necessário para levantar pesos, facilitando a compreensão dos conceitos de aceleração, força, força peso e força de tensão. Quando consideramos roldanas ideais (com massa desprezível e sem atrito), a análise das forças torna-se mais simples, pois a tensão no fio é constante ao longo de todo seu comprimento.

4.1.1 Roldana Fixa (Mudança de Direção)

Figura 10: Roldana fixa



Fonte: Figura adaptada do livro de Física Básica vol. 1

Para uma roldana fixa ideal:

- Não há aceleração (sistema em equilíbrio)
- A roldana apenas muda a direção da força

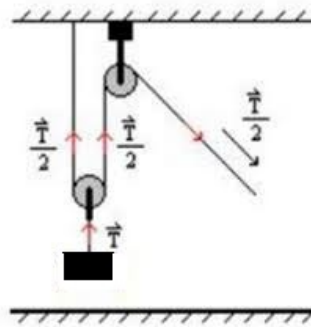
Pela Segunda Lei de Newton aplicada ao bloco:

$$\sum F_y = T - P = 0$$

$$T = P = mg$$

4.1.2 Roldana Móvel (Vantagem Mecânica)

Figura 11: Roldana móvel



Fonte: Figura adaptada do livro de Física Básica vol. 1

Analisando as forças:

- Duas tensões T puxando para cima
- Peso P para baixo

Condição de equilíbrio:

$$\sum F_y = 2T - P = 0$$

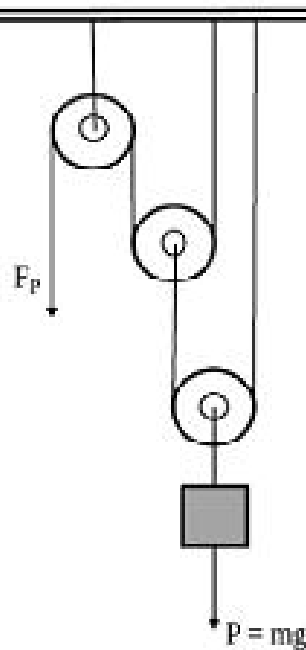
$$2T = P$$

$$T = \frac{P}{2}$$

4.1.3 Talha Exponencial (Associação de Roldanas)

A talha exponencial é um aparato muito útil com polias móveis e uma polia fixa. Quando você vai adicionando mais polia móvel, a força que tem que fazer pra levantar um peso fica cada vez menor. Isso acontece porque o peso divide entre as cordas, e cada polia móvel que você adiciona reduz a força pela metade.

Figura 12: Talha exponencial com 2 roldanas móveis



Fonte: Brasil Escola

A equação é simples e iremos mostrar para um sistema com n roldanas móveis:

- Cada roldana móvel divide a tensão por 2
- Força necessária: $F = \frac{P}{2^n}$

Se temos n polias móveis, a força (F) pra segurar um peso (P) é calculada assim::

$$1 \text{ roldana móvel: } F_1 = \frac{P}{2}$$

$$2 \text{ roldanas móveis: } F_2 = \frac{F_1}{2} = \frac{P}{4}$$

$\vdots$

$$n \text{ roldanas móveis: } F_n = \frac{P}{2^n}$$

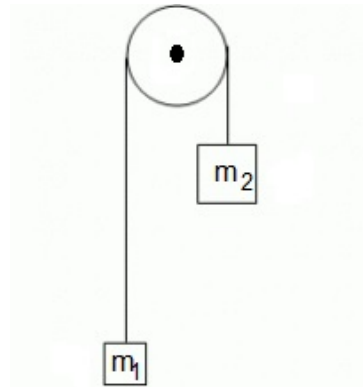
Ou seja, se tiver 3 polias móveis, a força cai pra $1/8$ do peso original! Por isso que usa muito em guindaste e obra, porque permite levantar coisa pesada sem precisa de muito esforço.

Mas temos que lembrar que, mesmo a força ser menor, a corda tem que puxar mais comprido pra levantar o objeto na mesma altura. É tipo um troca: menos força, mas mais movimento.

4.1.4 Máquina de Atwood

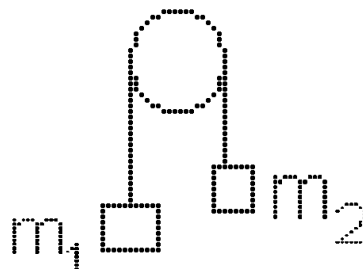
A máquina de Atwood foi inventada em 1784 pelo físico inglês George Atwood. Ela é um aparelho simples que ajuda a estudar a aceleração dos corpos.

Figura 13: Máquina de Atwood básica



Fonte: Autoria Própria

Figura 14: Máquina de Atwood em Braille



Fonte: Autoria Própria usando o software Monet

Considerando $m_1 > m_2$ e roldana ideal:

- Mesma aceleração a para ambos os blocos
- Mesma tensão T em ambos os lados do fio

Aplicando a Segunda Lei de Newton para cada bloco:

$$\text{Bloco } m_1 : \quad m_1 g - T = m_1 a \quad (1)$$

$$\text{Bloco } m_2 : \quad T - m_2 g = m_2 a \quad (2)$$

Somando (1) e (2) para eliminar T :

$$m_1 g - m_2 g = m_1 a + m_2 a$$

$$g(m_1 - m_2) = a(m_1 + m_2)$$

$$a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}g$$

Substituindo a em (1) para encontrar T :

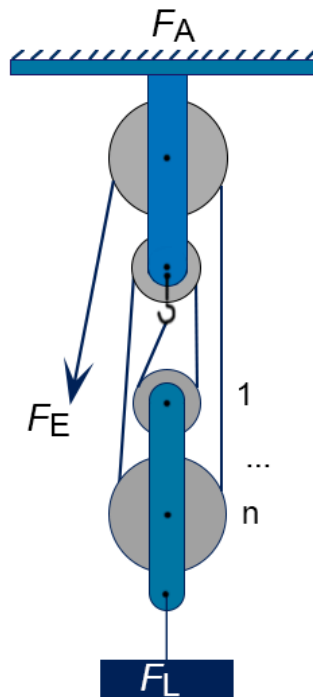
$$T = m_1g - m_1a = m_1g - m_1 \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}g \right)$$

$$T = m_1g \left(1 - \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right) = m_1g \left(\frac{2m_2}{m_1 + m_2} \right)$$

$$T = \frac{2m_1m_2}{m_1 + m_2}g$$

4.1.5 Sistema com Múltiplas Roldanas Móveis e Fixas

Figura 15: Sistema de roldanas



Fonte: Brasil Escola

Para sistemas mais complexos, o método geral é:

1. Identificar todas as roldanas móveis
2. Desenhar diagramas de corpo livre para cada componente
3. Aplicar $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ para cada massa

4. Relacionar as acelerações através dos vínculos geométricos
5. Resolver o sistema de equações resultante

Exemplo: Para o sistema mostrado na figura acima com 2 roldanas móveis:

$$\text{Roldana móvel 1: } 2T_1 = T_2$$

$$\text{Roldana móvel 2: } 2T_2 = P$$

$$\text{Portanto: } T_1 = \frac{P}{4}$$

Estas deduções mostram como as Leis de Newton podem ser aplicadas sistematicamente para analisar diversos arranjos de roldanas ideais, proporcionando uma base teórica sólida para os experimentos práticos com materiais adaptados.

4.2 Roldanas com massas desprezíveis

Para o estudo do comportamento de sistemas com roldanas em situações ideais, em que a massa das polias é considerada desprezível, foram desenvolvidos modelos experimentais utilizando materiais leves e de baixo custo. Optou-se por confeccionar as roldanas e seus suportes em madeira maciça de pequena densidade, com o objetivo de aproximar o sistema das condições teóricas usualmente adotadas no ensino de Mecânica. Essa escolha permite simplificar a análise das forças envolvidas (tração e peso) que pode facilitar a compreensão das relações de equilíbrio e vantagem mecânica, sem que os efeitos da inércia rotacional das polias interfiram significativamente nos resultados

Figura 16: Aparato de madeira com duas roldanas fixas



Fonte: Autoria própria

Nessa fig. 16 temos polias de madeira maciça (diâmetro de 5 cm) montadas sobre um suporte estrutural também confeccionado em madeira, garantindo leveza e baixo atrito nas articulações. O sistema é composto por barbantes de algodão que passam pelas polias, permitindo a realização de experimentos com blocos de massa conhecida. Parafusos de

ação foram utilizados para fixação dos componentes. A escolha de materiais não metálicos visa facilitar a manipulação tátil por alunos com deficiência visual, além de reduzir o peso total do aparelho, favorecendo sua portabilidade e segurança durante o uso em sala de aula.

Figura 17: Experimento com uma Roldana Fixa



Fonte: Autoria própria

Figura 18: Experimento com uma Roldana Fixa e uma Móvel



Fonte: Autoria própria

Sistema com vantagem mecânica 2:1, utilizando polias de madeiras tátilmente identificáveis por ranhuras.

4.3 Roldanas com massas diferentes de zero

Nesta seção, analisamos um sistema de roldana com massa não nula, em que temos:

- Polia de raio R e massa M (disco uniforme), com momento de inércia $I = \frac{1}{2}MR^2$.
- Massas m_1 e m_2 conectadas por uma corda inextensível e sem massa.
- A polia gira sem atrito no eixo e não há deslizamento entre corda e polia ($a = R\alpha$).

4.3.1 Equações de Movimento

Para os blocos

$$m_1 a = m_1 g - T_1 \quad (1)$$

$$m_2 a = T_2 - m_2 g \quad (2)$$

Para a polia (rotação)

$$\tau = I\alpha = R(T_1 - T_2) \quad (3)$$

$$\frac{1}{2}MR^2 \cdot \frac{a}{R} = R(T_1 - T_2) \quad (10)$$

$$\frac{1}{2}MRa = R(T_1 - T_2) \quad (11)$$

$$\frac{1}{2}Ma = T_1 - T_2 \quad (4)$$

4.3.2 Solução do Sistema

Somando (1) e (2):

$$m_1 a + m_2 a = m_1 g - T_1 + T_2 - m_2 g$$

$$(m_1 + m_2)a = (m_1 - m_2)g - (T_1 - T_2)$$

Substituindo (4):

$$(m_1 + m_2)a = (m_1 - m_2)g - \frac{1}{2}Ma \quad (12)$$

$$\left(m_1 + m_2 + \frac{1}{2}M\right)a = (m_1 - m_2)g \quad (13)$$

$$a = \frac{(m_1 - m_2)g}{m_1 + m_2 + \frac{1}{2}M} \quad (5)$$

4.3.3 Tensões nos Fios

Substituindo a aceleração:

$$T_1 = m_1g - m_1a \quad (6)$$

$$T_2 = m_2g + m_2a \quad (7)$$

- Aceleração do sistema:

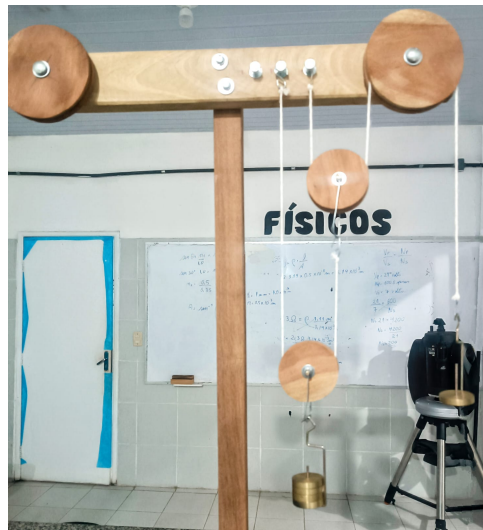
$$a = \frac{(m_1 - m_2)g}{m_1 + m_2 + \frac{1}{2}M}$$

- Tensões nas cordas:

$$T_1 = m_1g - m_1a, \quad T_2 = m_2g + m_2a$$

Os resultados obtidos mostram que a aceleração do sistema é reduzida pela presença da massa da polia, devido à sua inércia rotacional.

Figura 19: Experimento com uma roldana fixa e duas móveis



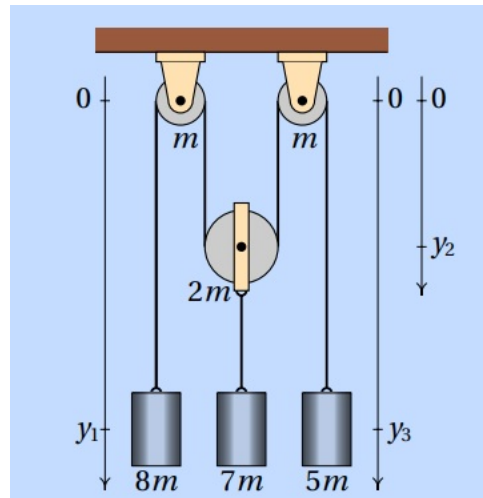
Fonte: Autoria própria

Como pode ser observado na Figura 19, temos uma montagem de uma Polia de madeira maciça ($M = 150g$) com eixo de baixo atrito, demonstrando efeitos de inércia rotacional. Todos os modelos incluem marcadores em braille para identificação de forças ($\vec{T}$, $\vec{P}$)

Exemplo de Roldanas com Massa Variável

No sistema da figura, a roldana do meio pode subir e descer, enquanto as outras duas roldanas estão fixas ao teto (VILLATE, 2019).

Figura 20: Sistema com roldanas de massa variável



Fonte: Villate, (2019)

As coordenadas y_1 , y_2 e y_3 são usadas para descrever as posições das massas.

As massas são:

- Roldanas fixas: cada uma com massa m
- Roldana móvel: com massa $2m$
- Cilindros: com massas $8m$, $7m$ (incluindo suporte) e $5m$

As massas dos fios e o atrito são desprezíveis. Determine as acelerações dos três cilindros.

Resolução

1. Definição do Sistema e Graus de Liberdade

- Coordenadas generalizadas:
 - y_1 : posição do cilindro da esquerda ($8m$)
 - y_2 : posição da roldana móvel
 - y_3 : posição do cilindro da direita ($5m$)
- O cilindro do meio ($7m$) está fixo à roldana móvel, portanto sua posição é $y_2 + \text{constante}$.
- Vínculo do fio (comprimento constante):

$$y_1 + 2y_2 + y_3 = \text{constante} \implies y_3 = k - y_1 - 2y_2$$

- O sistema possui **2 graus de liberdade** (podemos escolher y_1 e y_2 como coordenadas independentes).

2. Relações Cinemáticas

- Velocidades:

$$v_1 = \dot{y}_1, \quad v_2 = \dot{y}_2, \quad v_3 = \dot{y}_3 = -v_1 - 2v_2$$

- Acelerações:

$$a_1 = \dot{v}_1, \quad a_2 = \dot{v}_2, \quad a_3 = \dot{v}_3 = -a_1 - 2a_2$$

- Velocidades angulares das roldanas ($\omega = V/r$):

– Roldana fixa esquerda: $V_1 = v_1$

– Roldana móvel: $V_2 = v_1 + v_2$

– Roldana fixa direita: $V_3 = v_3$

3. Energia Cinética

A energia cinética total tem componentes:

- Translação dos cilindros:

$$T_{\text{cil}} = \frac{1}{2}(8m)v_1^2 + \frac{1}{2}(7m)v_2^2 + \frac{1}{2}(5m)v_3^2$$

- Translação da roldana móvel:

$$T_{\text{trans}} = \frac{1}{2}(2m)v_2^2$$

- Rotação das roldanas ($I = \frac{1}{2}Mr^2$, $T_{\text{rot}} = \frac{1}{4}MV^2$):

$$T_{\text{rot}} = \frac{1}{4}mv_1^2 + \frac{1}{4}(2m)(v_1 + v_2)^2 + \frac{1}{4}mv_3^2$$

Energia cinética total (substituindo v_3 e simplificando):

$$T = \frac{15}{2}mv_1^2 + 12mv_1v_2 + 16mv_2^2$$

4. Energia Potencial

Excluindo termos constantes:

$$U = -8mgy_1 - (7m + 2m)gy_2 - 5mgy_3 = -3mgy_1 + mgy_2 + \text{constante}$$

5. Equações de Lagrange

Para $q_1 = y_1$:

$$\begin{aligned} t(T\dot{y}_1) - Ty_1 + Uy_1 &= 0 \\ 15ma_1 + 12ma_2 - 3mg &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Para $q_2 = y_2$:

$$\begin{aligned} t(T\dot{y}_2) - Ty_2 + Uy_2 &= 0 \\ 12ma_1 + 32ma_2 + mg &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

6. Solução do Sistema

Resolvendo o sistema linear:

$$\begin{cases} 15a_1 + 12a_2 = 3g \\ 12a_1 + 32a_2 = -g \end{cases}$$

Solução:

$$a_1 = \frac{9g}{28}, \quad a_2 = -\frac{17g}{112}$$

Aceleração do terceiro cilindro:

$$a_3 = -a_1 - 2a_2 = -\frac{9g}{28} + \frac{34g}{112} = \frac{g}{56}$$

7. Resultados

- Cilindro esquerdo ($8m$): $\frac{9g}{28}$ para baixo
- Cilindro do meio ($7m$): $\frac{17g}{112}$ para cima
- Cilindro direito ($5m$): $\frac{g}{56}$ para cima

O sistema apresenta acelerações constantes, com o cilindro mais pesado ($8m$) acelerando para baixo e os outros dois cilindros acelerando para cima, conforme esperado pelo balanceamento das massas.

5 Conclusão

Este trabalho concentrou-se na viabilidade e eficácia de materiais didáticos adaptados para o ensino de conceitos mecânicos a estudantes com deficiência visual. Através da

construção e aplicação de um kit experimental composto por roldanas, barbantes e diagramas táteis em braille, foi possível traduzir conceitos abstratos da física - como vetores, Leis de Newton e suas aplicações com os sistemas de roldanas em experiências sensoriais.

Os resultados obtidos revelam que a abordagem multissensorial, que combina manipulação física de materiais com representações táteis, supera significativamente as limitações impostas pelos métodos tradicionais excessivamente visuais. Especificamente:

- A representação de vetores através de barbantes tensionados permitiu que os alunos compreendessem intuitivamente conceitos de direção, sentido e intensidade, fundamentais para a mecânica.
- Os sistemas de roldanas adaptados e feitos com madeira demonstraram-se particularmente eficazes no ensino das Leis de Newton, que podem permitir a percepção tátil de forças, acelerações e equilíbrios.
- A Máquina de Atwood em versão tátil possibilitou a compreensão quantitativa de sistemas dinâmicos, enquanto as talhas exponenciais ilustraram claramente as vantagens mecânicas.

Do ponto de vista pedagógico, a integração entre:

- Materiais de baixo custo (como barbantes e polias táteis)
- Tecnologia assistiva (*software Monet* para diagramas em braille)
- Fundamentação teórica adequada

mostrou-se uma estratégia eficiente para promover a inclusão no ensino de física. Esta abordagem corrobora as pesquisas de Carvalho (1998) e Fragoso (2010) sobre a importância da experimentação tátil no processo de aprendizagem de estudantes com deficiência visual.

As implicações deste trabalho estendem-se para além do contexto imediato da educação especial:

- Oferece um modelo replicável para adaptação de outros conteúdos da física
- Evidencia a necessidade de formação docente específica para educação inclusiva
- Aponta para a urgência de políticas públicas que incentivem a produção de materiais didáticos acessíveis

Como demonstrado ao longo deste estudo, a verdadeira inclusão educacional vai além da simples matrícula de estudantes com deficiência - exige a transformação das práticas

pedagógicas e a garantia de condições efetivas de aprendizagem. Neste sentido, os materiais desenvolvidos neste trabalho representam um passo para uma melhor aprendizagem para os alunos que irão usufruir deste conhecimento.

Para pesquisas futuras podemos recomendar:

- A expansão do kit experimental para outros tópicos da física;
- A aplicação de softwares computacionais para a aprendizagem tátil e sonora;
- A realização de estudos em escolas campos para a aplicação deste kit experimental.

6 Referências

1. BRASIL. Constituição Federal (1988).
2. BRASIL. Lei Brasileira de Inclusão (13.146/2015).
3. BUENO, J. G. S. (2011). Educação especial brasileira: integração/segregação do aluno diferente.
4. JANNUZZI, G. (2012). A educação do deficiente no Brasil.
5. ALMEIDA, J. C. A trajetória do Instituto Benjamin Constant. Rio de Janeiro: EduERJ, 2019.
6. BRASIL. Ministério da Educação. História da educação especial no Brasil. Brasília: MEC, 2020.
7. GARCIA, R. M.; LIMA, P. A. Educação inclusiva e deficiência visual. São Paulo: Cortez, 2018.
8. IBC. Instituto Benjamin Constant: 150 anos de história. Rio de Janeiro: IBC, 2021.
9. KASSAR, M. C. M. (2021). Educação especial e inclusiva no século XXI.
10. MANACORDA, M. A. (2000). História da educação: da antiguidade aos nossos dias.
11. MANTOAN, M. T. E. (2015). Inclusão escolar: O que é? Por quê? Como fazer?
12. MAZZOTTA, M. J. S. (1996). Educação especial no Brasil: história e políticas públicas.
13. MENDES, E. G. (2023). Políticas de inclusão escolar: avanços e desafios.
14. ROSA, S. S. (1982). Educação especial: história e fundamentos.
15. UNICEF (2022). Relatório sobre os impactos da pandemia na educação inclusiva.
16. GIL, D. Ensino de Ciências: O Pensamento de Professores. São Paulo: Cortez, 1999.
17. VIGOTSKI, L. S. Pensamento e Linguagem. São Paulo: Martins Fontes, 2005.
18. MEC – Ministério da Educação. Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva. Brasília: MEC/SEESP, 2008.

19. FRAGOSO, R. T. Ensino de Física para Deficientes Visuais: Novas Propostas de Práticas Pedagógicas. *Revista Brasileira de Educação Especial*, v. 16, n. 2, p. 303-322, 2010.
20. CARVALHO, A. M. P. Ensino de Física e Experimentação. São Paulo: Edusp, 1998.
21. VILLATE, Jaime E. Dinâmica e sistemas dinâmicos. 5. ed. Porto: Edição do autor, 2019. ISBN 978-972-99396-5-5. Disponível em: <http://def.fe.up.pt/dinamica>. Acesso em: 25 jul. 2025.
22. DINIZ, Ana Paula; SOUSA, José Ribamar. Educação inclusiva: desafios e possibilidades. 2020.
23. LOUREIRO, Luciana; SILVA, Eduardo. Políticas públicas de educação inclusiva: desafios à formação. 2021.
24. PADILHA2004 PADILHA, R. Q. Educação Inclusiva. 2004.