

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA-POLO UFC**

ALLYSON DE SOUSA ALEXANDRE DA SILVA

**O ENSINO DE FÍSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA USANDO COMO MOTIVAÇÃO A
DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO GRAVITACIONAL**

FORTALEZA

2018

ALLYSON DE SOUSA ALEXANDRE DA SILVA

O ENSINO DE FÍSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA USANDO COMO MOTIVAÇÃO A
DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO GRAVITACIONAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Nildo Loiola Dias

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S578e Silva, Allyson de Sousa Alexandre da.

O Ensino de Física na Educação Básica Usando como Motivação a Determinação da Aceleração Gravitacional / Allyson de Sousa Alexandre da Silva. – 2018.

119 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Nildo Loiola Dias.

1. Ensino de Física. Experimentos. Aceleração Gravitacional.. I. Título.

CDD 530.07

ALLYSON DE SOUSA ALEXANDRE DA SILVA

O ENSINO DE FÍSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA USANDO COMO MOTIVAÇÃO A
DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO GRAVITACIONAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Prof. Dr. XXXXXXXXXXX XXXXXXX
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Prof. Dr. XXXXXXXXXXX XXXXXXX
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

A Deus.

Aos meus pais, esposa, filhas e amigos.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus, por ter me dado a força necessária para que esse trabalho pudesse ter sido feito e concluído.

Agradeço a toda minha família, em especial à minha esposa, Érika Bezerra, e às minhas filhas, Isabelly Liz e Lara Liz, pela compreensão nos diversos dias em que não pude dar atenção, abrindo mão de finais de semana, feriados e eventos sociais para que pudesse me dedicar a este trabalho.

Também devo meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, o Professor Doutor Nildo Loiola, que, de pronto, acolheu este trabalho, dando a devida atenção, orientação e todo o suporte necessário para que pudesse ser feito.

Agradeço à amiga Ana Rute, por me ajudar na correção e formatação deste trabalho.

Meu muito obrigado aos professores, que se dedicaram ao máximo para que eu pudesse ter uma boa formação. Destaco aqui o Professor Carlos Alberto, pela dedicação à Coordenação do Curso.

Obrigado ao núcleo gestor da EEFM Dona Hilza Diogo de Oliveira e da Escola Pública Estadual do Ceará CERE – Professora Maria José Santos Ferreira Gomes, que me deu total liberdade para trabalhar com os alunos. Agradeço a todos os meus alunos que participaram das práticas experimentais e aos professores das Escolas que liberaram os alunos de suas aulas para participarem deste trabalho.

Minha gratidão aos meus amigos do Mestrado, pelas dicas, sugestões e críticas e pela convivência harmoniosa durante o Curso, o que me rendeu aprendizado e a construção de boas amizades.

Muito obrigado a todos.

Ensinar é um exercício de imortalidade. De alguma forma, continuamos a viver naqueles cujos olhos aprenderam a ver o mundo pela magia da nossa palavra. O professor, assim, não morre jamais...

Rubem Alves

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de auxiliar a prática docente na compreensão de fenômenos físicos estudados pelos alunos da educação básica e que se utiliza de uma apostila (Produto Educacional) que contém seis tópicos de assuntos de Física, que fazem parte da grade curricular dos alunos do Ensino Médio. O trabalho está alicerçado em histórias, demonstrações simples de equações, questionários, práticas experimentais simples e exercícios de fixação. A escolha da aceleração gravitacional foi intencional por ser a primeira constante com que os alunos têm contato e a mais utilizada nos assuntos iniciais curriculares, pois, sem ela, é impossível determinar o tempo de queda de um corpo abandonado, o empuxo ocasionado por um líquido, o peso de uma massa qualquer etc. Dessa forma, este trabalho propõe a sua determinação como ferramenta de ensino-aprendizagem, buscando desenvolver: motivação, trabalho em equipe, capacidade de iniciativa, criatividade, observação, análise de dados e leitura crítica. Para isso, foram escolhidos os seguintes tópicos para compor o produto educacional, a saber: Força Peso, Ondulatória, Queda Livre, Hidrostática, Pêndulo Simples e Roldanas. Assim, buscase neste trabalho usar a prática experimental para determinar a aceleração gravitacional local com a finalidade de ensinar o fenômeno físico envolvido em cada assunto estudado.

Palavras-chave: Ensino de Física. Experimentos. Aceleração Gravitacional.

ABSTRACT

This work was developed with the objective of assisting the teaching practice in the understanding of physical phenomena studied by students of basic education and using an apostille (Educational Product) that contains six topics of physics topics, which is part of the curriculum of high school students. The work is based on stories, simple demonstrations of equations, questionnaires, simple experimental practices and fixation exercises. The choice of gravitational acceleration was intentional because it is the first constant that the students have contact with and the most used in the initial curricular subjects, because without it it is impossible to determine the time of fall of an abandoned body, the thrust caused by a liquid, the weight of any mass etc. In this way, we propose its determination as a teaching / learning tool, seeking to develop: motivation, teamwork, initiative, creativity, observation, data analysis and critical reading. For this, we chose the following topics to compose the educational product, namely: Strength Weight, Wave, Free Fall, Hydrostatic, Simple Pendulum and Pulleys. Thus, we seek to use the experimental practice to determine the local gravitational acceleration to teach the physical phenomenon involved in each subject studied.

Keywords: Physics Teaching. Experiments. Gravitational Acceleration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pêndulo simples	34
Figura 2 – Pêndulo simples com aplicação das forças atuantes	35
Figura 3 – Pêndulo com pequena elongação	36
Figura 4 – Recipiente com líquido e um corpo completamente imerso	40
Figura 5 – Recipiente em equilíbrio hidrostático.....	41
Figura 6 – Equipamento montado e em equilíbrio.....	43
Figura 7 – Exemplos de onda transversal e onda longitudinal	45
Figura 8 – Comprimento de onda e amplitude	45
Figura 9 – Frequência fundamental e harmônicos	46
Figura 10 – Comportamento da onda com corda fixa e livre	47
Figura 11 – Medida do comprimento de onda	48
Figura 12 – Análise de um pedaço muito pequeno da corda	49
Figura 13 – Corda tensionada.....	51
Figura 14 – Componentes de uma roldana	53
Figura 15 – Direção da força aplicada.....	54
Figura 16 – Sistemas de roldanas livres	54
Figura 17 – Aplicação da força em várias e uma direção.....	55
Figura 18 – Aplicação das forças	55
Figura 19 – Aplicação das forças num sistema de duas polias livres.....	56
Figura 20 – Sistema de uma polia móvel	57
Figura 21 – Bloco preso ao dinamômetro	59
Figura 22 – Corpo caindo livremente	61
Figura 23 – Esfera em queda livre	62
Figura 24 – Montagem da força peso.....	67
Figura 25 – Aferição da massa.....	68
Figura 26 – Ilustração de um dinamômetro distendido.....	69
Figura 27 – Montagem do pêndulo simples	72
Figura 28 – Montagem com uma roldana fixa	75
Figura 29 – Montagem com uma roldana fixa e uma livre.....	75
Figura 30 – Montagem com o corpo fora do líquido	79
Figura 31 – Montagem com o corpo dentro do líquido	79

Figura 32 – Dinamômetro.....	80
Figura 33 – Corpo suspenso	81
Figura 34 – Corpo preso ao dinamômetro parcialmente submerso.....	81
Figura 35 – Montagem do experimento de queda livre	84
Figura 36 – Montagem do experimento.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Conhecimentos prévios: força peso	66
Tabela 2 – Material utilizado na prática experimental	67
Tabela 3 – Conhecimentos prévios: pêndulo simples	70
Tabela 4 – Material utilizado na prática experimental	71
Tabela 5 – Conhecimentos prévios: roldanas	74
Tabela 6 – Material utilizado na prática experimental	74
Tabela 7 – Conhecimentos prévios: hidrostática.....	77
Tabela 8 – Material utilizado na prática experimental	78
Tabela 9 – Conhecimentos prévios: queda livre.....	82
Tabela 10 – Material utilizado na prática experimental	83
Tabela 11 – Conhecimentos prévios: ondulatória	86
Tabela 12 – Material utilizado na prática experimental	86
Tabela 13 – Resultados obtidos no laboratório da UFC – Pêndulo Simples	90
Tabela 14 – Resultados obtidos no laboratório da UFC – Hidrostática	90
Tabela 15 – Resultados obtidos no laboratório da UFC – Ondulatória	91
Tabela 16 – Resultados obtidos no laboratório da UFC – Roldanas.....	91
Tabela 17 – Resultados obtidos no laboratório da UFC – Foça Peso.....	92
Tabela 18 – Resultados obtidos no laboratório da UFC – Queda Livre	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNC	Base Nacional Comum
EEFM	Escola de Ensino Fundamental e Médio
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
PCNs	Parâmetros Curriculares Nacionais
PFD	Princípio Fundamental da Dinâmica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 O PRODUTO EDUCACIONAL E A LEI DE DIRETRIZES E BASES DA EDUCAÇÃO - LDB	21
2.1 Parâmetros Curriculares Nacionais – PCNs	23
3 REVISÃO DE LITERATURA	25
3.1 O Ensino de Física por Meio da Experimentação	25
3.2. A Importância e os Objetivos da Experimentação no Ensino de Física	26
3.3 Atividades Experimentais em Física e suas Dificuldades	27
3.4 Contribuições das Atividades Experimentais no Ensino de Física	28
3.4.1 Motivação	29
3.4.2 Trabalho em Equipe	29
3.4.3 Capacidade de Iniciativa	29
3.4.4 Criatividade	30
3.4.5 Observação	30
3.4.6 Analisar dados e fazer uma leitura crítica	30
4 O ENSINO DE FÍSICA POR MEIO DA DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO GRAVITACIONAL LOCAL	32
4.1 Tópico 1 – Determinação da Aceleração Gravitacional Local Utilizando o Pêndulo Simples	32
4.1.1 A Física na História	32
4.1.2 As Primeiras Determinações da Aceleração Gravitacional	33
4.1.3 O Método de Bessel	34
4.1.3.1 Demonstração da Equação da Aceleração Gravitacional em Função do Tempo e do Comprimento do Pêndulo	34
4.2 Tópico 2 – Determinação da Aceleração Gravitacional Utilizando a Hidrostática	39
4.2.1 A Física na História	39
4.2.2 O Teorema de Arquimedes	40
4.2.3 O Teorema de Stevin	41
4.2.4 Determinação da Aceleração Gravitacional por meio do Teorema de Arquimedes	42

4.3 Tópico 3 – Determinação da Aceleração Gravitacional Utilizando a Ondulatória.....	43
4.3.1 A Física na História	44
4.3.2 Velocidade de uma Onda	47
4.3.3 Fórmula de Taylor	48
4.3.4 Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio de uma Corda Tensionada	50
4.4 Tópico 4 – Determinação da Aceleração Gravitacional Utilizando Roldanas...	52
4.4.1 A Física na História	52
4.4.2 Força Aplicada Utilizando Polia Fixa	54
4.4.3 Força Aplicada Utilizando Polia Móvel	55
4.4.4 Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio de Roldanas (Polias)	57
4.5 Tópico 5 – Determinação da Aceleração Gravitacional Utilizando a Força Peso.....	58
4.5.1 A Física na História	58
4.5.2. Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio da Força Peso	59
4.6 Tópico 6 – Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio da Queda Livre.....	60
4.6.1 A Física na História	60
4.6.2 Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio da Queda Livre pelo Princípio da Conservação da Energia Mecânica	61
4.6.3 Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio da Queda Livre pela Cinemática	62
5 APLICAÇÃO DO PRODUTO	64
5.1 Aplicação do Produto Educacional.....	64
5.2 Força Peso.....	66
5.2.1 Força Peso – Prática Experimental: Conhecimentos Prévios	66
5.2.2 Força Peso – Prática Experimental: Material Utilizado	66
5.2.3 Força Peso – Prática Experimental: Montagem do Experimento	67
5.2.4 Força Peso – Prática Experimental: Procedimentos	67
5.2.5 Força Peso – Exercícios de Fixação	69
5.3 Pêndulo Simples	70
5.3.1 Pêndulo Simples – Prática Experimental: Conhecimentos Prévios	70

5.3.2 Pêndulo Simples – Prática Experimental: Material Utilizado	70
5.3.3 Pêndulo Simples – Prática Experimental: Montagem do Experimento	71
5.3.4 Pêndulo Simples – Prática Experimental: Procedimentos	72
5.3.5. Pêndulo Simples – Exercícios de Fixação	73
5.4 Roldanas	73
5.4.1. Roldanas – Prática Experimental: Conhecimentos Prévios	73
5.4.2 Roldanas – Prática Experimental: Material Utilizado	74
5.4.3 Roldanas – Prática Experimental: Montagem do Experimento	75
5.4.4 Roldana – Prática experimental: Procedimentos	76
5.4.5 Roldana – Exercícios de Fixação	76
5.5 Hidrostática	77
5.5.1 Hidrostática – Prática Experimental: Conhecimentos Prévios	77
5.5.2 Hidrostática – Prática Experimental: Material Utilizado	78
5.5.3 Hidrostática – Prática Experimental: Montagem do Experimento	79
5.5.4 Hidrostática – Prática Experimental: Procedimentos	80
5.5.5 Hidrostática – Exercícios de Fixação	82
5.6 Queda Livre	82
5.6.1 Queda Livre – Prática Experimental: Conhecimentos Prévios	82
5.6.2 Queda Livre – Prática Experimental: Material Utilizado	83
5.6.3 Queda Livre – Prática Experimental: Montagem do Experimento	84
5.6.4 Queda Livre – Prática Experimental: Procedimentos	85
5.6.5 Queda Livre – Exercícios de Fixação	85
5.7 Ondulatória	85
5.7.1 Ondulatória – Prática Experimental: Conhecimentos Prévios	85
5.7.2 Ondulatória – Prática Experimental: Material Utilizado	86
5.7.3 Ondulatória – Prática Experimental: Montagem do Experimento	87
5.7.4 Ondulatória – Prática Experimental: Procedimentos	87
5.7.5 Ondulatória – Exercícios de Fixação	88
6 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO PRODUTO	90
7 CONCLUSÃO	93
8 REFERÊNCIAS.....	94
APÊNDICE A – PÊNDULO SIMPLES	97
APÊNDICE B – HIDROSTÁTICA	98
APÊNDICE C – ONDULATÓRIA.....	99

APÊNDICE D – ROLDANAS	100
APÊNDICE E – FORÇA PESO	101
APÊNDICE F – QUEDA LIVRE	102
APÊNDICE G – QUESTIONÁRIOS	103
APÊNDICE H – CONHECIMENTOS PRÉVIOS.....	106
APÊNDICE I – APLICAÇÃO DO PRODUTO COM OS ALUNOS.....	109
APÊNDICE J – RESULTADO DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	114
APÊNDICE K – PRODUTO EDUCACIONAL	120

1 INTRODUÇÃO

A educação brasileira, em particular o ensino de Física, vem passando por sérias dificuldades no aprendizado há alguns anos. Várias tentativas foram e estão sendo estudadas para encontrar uma solução que possa melhorar o aprendizado e o interesse dos alunos da educação básica. Não são poucos os relatos de alunos que acham a disciplina de Física complicada e difícil. Muitos desses estudantes, antes de terem o primeiro contato com a disciplina, já são aterrorizados por outros que tiveram a primeira experiência com essa disciplina. Para Xavier (2003), o trauma e o medo do ensino de Física podem ser apontados como causas que dificultam a aprendizagem. Isso pode ser uma das inúmeras barreiras encontradas pelos alunos e também pelo professor, pois esse preconceito bloqueia o interesse, dificultando o aprendizado.

Outro ponto bastante apontado pelos professores, de modo geral, em relação à dificuldade dos alunos é a falta de base matemática, pois a Física e a Matemática possuem em comum o uso de equações. Segundo Silveira, a Matemática ocupa o lugar das disciplinas que mais reprova na escola, e, de acordo com sua pesquisa, os alunos apontam a essa disciplina como uma “matéria difícil”.

De acordo com Gonçalves (2012), uma pesquisa realizada pelo site *Seu Professor* comprovou que Matemática e Física são responsáveis por 60% das dúvidas dos alunos dos Ensinos Fundamental e Médio. Assim, pode-se associar que as dificuldades dos alunos em Física estão ligadas também às equações matemáticas.

O professor tem um papel importante na aprendizagem do aluno. Ele pode tornar os conteúdos mais atrativos ou causar uma repulsa à disciplina. É muito comum alguns professores jogarem a responsabilidade inteiramente para o aluno, achando que ele não quer aprender ou é desinteressado. No entanto, o processo de ensino-aprendizagem é uma via de mão dupla, onde há responsabilidade tanto do professor como do aluno.

É importante que o professor conheça a realidade do seu aluno para que ele possa mediar os conhecimentos deste aos da Física, pois, para Libâneo (2011), o professor deve assumir o ensino com mediação; conhecer estratégias de ensinar a pensar e ensinar a aprender e mediar os alunos a buscarem uma perspectiva crítica dos conteúdos. De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio) – PCNs (Brasil, 2000), é imprescindível considerar o mundo vivencial dos alunos, sua realidade próxima ou distante, os objetos e fenômenos com que efetivamente lidam

ou os problemas e indagações que movem sua curiosidade. Por isso, é fundamental que o professor repense sua metodologia, pois há uma distância entre a sua realidade e a de seu aluno, que deve ser considerada.

Diante de tantas dificuldades encontradas pelos alunos e professores no ensino de Física e na tentativa de colaborar com a metodologia do ensino da disciplina, este trabalho apresentará uma proposta que venha auxiliar o professor a ajudar o aluno na compreensão dos conceitos de Física. A ideia é utilizar os mais variados mecanismos que façam com que o aluno desenvolva melhor seus conhecimentos e possa atuar e participar no mundo em que vive. Neste estudo, serão trabalhados os conceitos de Física, utilizando a Física na história, a demonstração de equações simples e o principal, a prática experimental. Dessa forma, acredita-se que é possível atender ao máximo a heterogeneidade da sala de aula, pois parte dos alunos gostam de história, outros gostam de contas e equações e outros gostam de práticas laboratoriais. Assim, cada aluno pode contribuir com suas habilidades dentro do processo ensino/aprendizagem.

O objetivo deste trabalho é tentar tornar as aulas de Física mais interessantes, tanto para os alunos da educação básica como para o professor, de modo a tornar a aula mais dinâmica e proveitosa, sem abrir mão do tradicionalismo (utilização de equações e demonstrações), mas dando um enfoque na parte experimental, resgatando o interesse pela pesquisa científica e pelo trabalho dentro dos laboratórios das escolas, que estão cada dia mais ficando subutilizados. Por isso, acredita-se que a fundamentação teórica não pode estar separada da prática experimental, como afirmam Lawson & McDermott (1987):

Não é de admirar falhas na aprendizagem, se conceitos complexos e difíceis de visualizar só forem apresentados de uma forma verbal ou contextual. Devem ser divulgadas e encorajadas técnicas de instrução atraentes que coloquem a ênfase na compreensão qualitativa dos princípios físicos fundamentais.

Esta pesquisa se propõe, ainda, a elaborar um manual de experimentos de Física e metodologias que possam auxiliar o professor com os alunos para a compreensão dos fenômenos físicos; a tornar o ensino de Física mais atrativo, buscando atender as potencialidades dos alunos; a desenvolver experimentos simples, cujo material seja de fácil acesso; a utilizar a determinação da aceleração gravitacional como ferramenta para o ensino de Física; e a mostrar que a prática

experimental no ensino de Física torna as aulas mais prazerosas e auxilia no aprendizado dos fenômenos físicos, facilitando a compreensão dos alunos.

Neste trabalho, serão estudados os principais assuntos de Física básica do Ensino Fundamental e, principalmente, do Ensino Médio, utilizando a determinação da aceleração gravitacional local como proposta para o ensino de Física. A ideia é fazer com que os alunos aprendam os conceitos fundamentais dessa disciplina de uma forma prática, despertando um maior interesse pela pesquisa, por meio de experimentos simples e, na maioria das vezes, de baixo custo, mantendo o ensino tradicional para a fundamentação teórica, porém fomentando a prática experimental e a pesquisa, como determinar a aceleração gravitacional local a partir dos assuntos da dinâmica, da hidrostática, da cinemática etc.

A escolha da determinação gravitacional, dentre tantas outras constantes que existem na Física, foi proposital, pois boa parte dos assuntos estudados por alunos da educação básica envolve a aceleração gravitacional. Dessa forma, é interessante que o estudante entenda o porquê de o valor da aceleração gravitacional ser aproximadamente 10 m/s^2 , pois ele irá utilizar em muitos assuntos do seu currículo escolar. É importante que esse aluno se aproprie bem do valor dessa constante, pois, sem ela, é impossível calcular a força peso, o tempo de queda de um corpo e o empuxo sofrido por um corpo mergulhado em um líquido.

No começo deste estudo, será feita uma fundamentação legal do ensino de Física proposto aqui com a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – LDB, que é regido pela Lei 9.394/96. Essa lei é a mais importante do sistema educacional, pois ela traz as diretrizes gerais da educação brasileira, seja ela pública ou privada. O objetivo é mostrar que este trabalho atende as exigências legais da educação brasileira.

Em seguida, será feita uma revisão de literatura, com pesquisa realizada em artigos publicados em revistas, sites e livros que abordam o assunto estudado. Aqui serão citados alguns autores que discutem a ideia da importância da prática experimental como ferramenta de aprendizagem e suas contribuições.

Adiante, serão abordados seis tópicos, cada um deles com uma maneira de determinar a aceleração gravitacional local. Nesses tópicos, haverá, inicialmente, uma abordagem histórica e o desenvolvimento das equações físicas para a obtenção de uma equação geral que possa determinar o valor da aceleração gravitacional local por meio das grandezas físicas envolvidas em cada assunto estudado.

Depois, este estudo apresentará a metodologia aplicada do produto educacional. Este estágio descreverá o passo a passo de como foi aplicado o produto em sala de aula com os alunos, a quantidade de aulas necessárias para a implantação desse produto, os materiais utilizados e a montagem.

Por fim, nas considerações finais, serão descritos, de forma qualitativa e quantitativa, os resultados obtidos com a aplicação do produto educacional para os alunos da Escola Pública Estadual do Ceará EEFM Dona Hilza Diogo de Oliveira. Serão mostrados nessa etapa, ainda, os resultados dos questionários aplicados, antes e depois, as dificuldades na aplicação do produto e os benefícios oriundos da prática experimental com os alunos.

2 O PRODUTO EDUCACIONAL E A LEI DE DIRETRIZES E BASES DA EDUCAÇÃO - LDB

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – LDB, também conhecida por Lei Darcy Ribeiro, é regida pela Lei 9.394/96 e é a mais importante do sistema educacional, pois aborda as diretrizes gerais da educação brasileira, tanto no ensino público como no ensino privado.

Neste trabalho, a determinação da aceleração gravitacional é uma forma de ensinar os conteúdos básicos da Física que estão dentro da grade curricular dos alunos da educação básica, utilizando uma abordagem diferente, porém não deixando o modelo tradicional. O intuito principal é fazer com que o aluno aprenda os conceitos de Física por meio dos experimentos, nos quais ele terá a oportunidade de manipular as diversas variáveis e construir suas ideias e concepções pedagógicas, resgatando o interesse e tendo a total liberdade para aprender, como reza o Art. 3º (II, III e IX):

O ensino será ministrado com base nos seguintes princípios:

II - liberdade de aprender, ensinar, pesquisar e divulgar a cultura, o pensamento, a arte e o saber;

III - pluralismo de ideias e de concepções pedagógicas;

IX - garantia de padrão de qualidade; (BRASIL, 1996)

É importante que o professor de Física procure mecanismos que possam melhorar o aprendizado do aluno, pois, do contrário, causará repulsa pela disciplina. Por isso, este trabalho propõe utilizar a experimentação, além das aulas tradicionais, para que o aluno possa contribuir com suas habilidades, na manipulação de variáveis, construindo o experimento, calculando valores, descrevendo as equações ou compreendendo o significado prático dos conceitos no dia a dia, como está escrito no Art. 13 (III e IV):

Os docentes incumbir-se-ão de:

III - zelar pela aprendizagem dos alunos;

IV - estabelecer estratégias de recuperação para os alunos de menor rendimento; (BRASIL, 1996)

A escolha da determinação da aceleração gravitacional foi intencional, pois ela está presente na maioria dos assuntos estudados pelos alunos da educação básica. Conhecer esse valor e compreender as implicações na sua vida, que vão de uma simples medição de peso no supermercado a um trabalho pericial que necessita

calcular o tempo de queda de um corpo que cai de um prédio, é de fundamental importância para sua atuação na sociedade. Dessa forma, este estudo atende o que diz o Art. 22 (BRASIL, 1996): “A educação básica tem por finalidades desenvolver o educando, assegurar-lhe a formação comum indispensável para o exercício da cidadania e fornecer-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores.”

O critério de avaliação proposto neste trabalho é contínuo e leva em consideração as habilidades de cada aluno, por isso que foram levadas em conta a história e a filosofia de cada tópico abordado e as demonstrações matemáticas das equações e da prática experimental, para que pudesse atender as mais variadas habilidades dos alunos, como afirma o Art. 24 (V – a):

A educação básica, nos níveis fundamental e médio, será organizada de acordo com as seguintes regras comuns:

V - a verificação do rendimento escolar observará os seguintes critérios:

a) avaliação contínua e cumulativa do desempenho do aluno, com prevalência dos aspectos qualitativos sobre os quantitativos e dos resultados ao longo do período sobre os de eventuais provas finais; (BRASIL, 1996)

O ensino tradicional proposto neste estudo diz respeito aos aspectos da leitura, da escrita e dos cálculos, pois o ensino de Física não pode ser feito de forma plena sem que haja a descrição dos fenômenos naturais sem a utilização das equações matemáticas, atendendo o Art. 32 – I (BRASIL, 1996): “O desenvolvimento da capacidade de aprender, tendo como meios básicos o pleno domínio da leitura, da escrita e do cálculo;”

A experimentação é o ápice deste trabalho, pois toda a teoria apresentada em sala de aula e a demonstração da equação que determina a aceleração gravitacional local têm como objetivo principal encontrar o valor da aceleração da gravidade por meio da prática laboratorial. Dessa forma, entende-se que o conceito científico estudado ficará melhor compreendido, como determina o Art. 35, IV:

O ensino médio, etapa final da educação básica, com duração mínima de três anos, terá como finalidades:

IV - a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina. (BRASIL, 1996)

Por fim, acredita-se que este trabalho atende as determinações legais e será muito útil para o professor e, principalmente para o aluno, que terá uma abordagem mais dinâmica dos assuntos de Física, sem perder a essência natural exigida pela disciplina.

2.1 Parâmetros Curriculares Nacionais – PCNs

Os PCNs são parâmetros definidos a partir dos princípios da LDB, para que a escola possa nortear o ensino, possibilitando ao aluno a devida integração com as novas tecnologias e o mundo contemporâneo. A ideia central é dar significado ao conhecimento adquirido na escola por meio da contextualização e da interdisciplinaridade, fazendo com que o professor busque novas metodologias e novas formas de abordagens de um determinado assunto.

O Ensino Médio, no decorrer dos anos, vem enfrentando diversos desafios, pois as novas tecnologias têm inserido um volume enorme de informação. Dessa forma, o ensino fica constantemente superado, pois não se trata apenas de acúmulo de conhecimento, mas de estar preparado para atuar tecnologicamente no mundo em que vive, conforme orientações que constam nos PCNs:

A formação do aluno deve ter como alvo principal a aquisição de conhecimentos básicos, a preparação científica e a capacidade de utilizar as diferentes tecnologias relativas às áreas de atuação. Propõe-se, no nível do Ensino Médio, a formação geral, em oposição à formação específica; o desenvolvimento de capacidades de pesquisar, buscar informações, analisá-las e selecioná-las; a capacidade de aprender, criar, formular, ao invés do simples exercício de memorização. (BRASIL, 2000)

Atualmente, está sendo pensado um novo currículo para o Ensino Médio, o qual envolve dois fatores importantes: a revolução do conhecimento, que altera o modo de organização do trabalho e as relações sociais, e o crescimento da rede pública devido à migração dos alunos da rede particular. Dessa forma, há que se buscar um padrão melhor de qualidade que atenda os anseios e as exigências da sociedade.

O estudo da Física está dentro da área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias e tem como objetivo a construção de habilidades e competências que permitam ao aluno o seguinte, segundo os PCNs, de acordo com a Base Nacional Comum – BNC:

Compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolvem por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade;

Entender e aplicar métodos e procedimentos próprios das Ciências Naturais; identificar variáveis relevantes e selecionar os procedimentos necessários para produção, análise e interpretação de resultados de processos ou experimentos científicos e tecnológicos;

Apropriar-se dos conhecimentos da Física, da Química e da Biologia, e aplicar esses conhecimentos para explicar o funcionamento do mundo natural, planejar, executar e avaliar ações de intervenção na realidade natural;

Compreender o caráter aleatório e não determinístico dos fenômenos naturais e sociais e utilizar instrumentos adequados para medidas, determinação de amostras e cálculo de probabilidades;

Identificar, analisar e aplicar conhecimentos sobre valores de variáveis, representados em gráficos, diagramas ou expressões algébricas, realizando previsão de tendências, extrapolações e interpolações, e interpretações;

Analisar qualitativamente dados quantitativos, representados gráfica ou algebricamente, relacionados a contextos socioeconômicos, científicos ou cotidianos;

Identificar, representar e utilizar o conhecimento geométrico para o aperfeiçoamento da leitura, da compreensão e da ação sobre a realidade;

Entender a relação entre o desenvolvimento das Ciências Naturais e o desenvolvimento tecnológico, e associar as diferentes tecnologias aos problemas que se propuseram e propõem solucionar;

Entender o impacto das tecnologias associadas às Ciências Naturais na sua vida pessoal, nos processos de produção, no desenvolvimento do conhecimento e na vida social;

Aplicar as tecnologias associadas às Ciências Naturais na escola, no trabalho e em outros contextos relevantes para sua vida;

Compreender conceitos, procedimentos e estratégias matemáticas, e aplicá-las a situações diversas no contexto das ciências, da tecnologia e das atividades cotidianas. (BRASIL, 2000)

Essa é a principal proposta deste trabalho, pois o aluno irá desenvolver seu conhecimento por meio de pesquisa, manipulação das variáveis, criação e formulação de equações e não de uma simples memorização de equações, sem ter compreendido o seu real significado.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O Ensino de Física por Meio da Experimentação

É sabido pela maioria dos professores que o uso da prática experimental como ferramenta de ensino-aprendizagem é de fundamental importância para a prática pedagógica. Fica muito difícil o aluno compreender os conceitos de Física com base apenas na teoria e/ou na resolução de problemas, que, na maioria das vezes, são abstratas e fora da sua realidade. Segundo Alves & Stachak (2005):

O ato de experimentar no ensino de Física é de fundamental importância no processo ensino-aprendizagem e tem sido enfatizado por muitos autores. Esta ênfase por um ensino experimental adicionam-se importantes contribuições da teoria da aprendizagem em busca da contribuição do conhecimento. (Alves & Stachak, 2005, p. 1)

Ainda para Alves & Stachak (2005), o ensino experimental só contribui para o conhecimento do aluno, tirando ele da abstração dos conceitos e trazendo para mais próximo da realidade. Sem isso, há uma possibilidade grande de o aluno “enfrentar” o ensino de Física apenas pela busca da nota e aprovação no final do ano.

Atualmente, o ensino é visto como um objeto abstrato, longe da realidade dos alunos, o qual gera um desinteresse total pelo trabalho escolar. Os alunos preocupam-se apenas com a nota e com a promoção, os assuntos estudados são logo esquecidos e aumentam os problemas de disciplina. (Alves & Stachak, 2005, p. 2)

Araújo & Abib (2003) acreditam que não exista uma metodologia ideal, mas uma mais adequada a cada realidade e momento, desde que o ambiente seja propício ao aprendizado. É sempre bom lembrar que o aluno da educação básica chega à escola com muita informação e leitura de mundo à sua volta, o que precisa ser levado em consideração pelo professor. É muito importante que o educador saiba lidar e trabalhar os conhecimentos prévios trazidos pelo aluno, pois esses conhecimentos serão de grande valia para o ensino-aprendizagem, necessitando apenas ser trabalhados pelo professor.

A utilização adequada de diferentes metodologias experimentais, tenham elas a natureza de demonstração, verificação ou investigação, pode possibilitar a formação de um ambiente propício ao aprendizado de diversos

conceitos científicos sem que sejam desvalorizados ou desprezados os conceitos prévios dos estudantes. Assim, mesmo as atividades de caráter demonstrativo, (...) que visam principalmente à ilustração de diversos aspectos dos fenômenos estudados, podem contribuir para o aprendizado dos conceitos físicos abordados, na medida em que essa modalidade pode ser empregada através de procedimentos que vão desde uma mera observação de fenômenos até a criação de situações que permitam uma participação mais ativa dos estudantes, incluindo a exploração dos seus conceitos alternativos de modo a haver maiores possibilidades de que venham a refletir e reestruturar esses conceitos. (Araújo & Abib, 2003, p.190)

A prática pedagógica no ensino de Física deve buscar o equilíbrio entre o formalismo matemático e a fenomenologia, pois os alunos esperam dessa disciplina algo que possa ter significado na sua vida diária, como afirmam Bonadiman *et al*, (2005):

A imagem que as pessoas têm da Física é geralmente criada na escola, resultado do ensino ali praticado. O que prevalece, na prática pedagógica da maioria dos professores, é o formalismo, enquanto o contato com a fenomenologia, esse lado da Física que as pessoas consideram mais atrativo, é pouco valorizado, e por vezes até mesmo esquecido por completo. Enfatiza-se demasiadamente uma Física matemática em detrimento de uma Física mais conceitual, mais experimental e com mais significado para a vida das pessoas. (Bonadiman et al, 2005, p.1)

Assim, percebe-se que não são apenas os cálculos obtidos ou os resultados numéricos, após incansáveis contas, que irão dar o real significado, mas a prática aplicada à sua realidade, sabendo que os resultados obtidos nem sempre representam a realidade e que fatores externos podem modificar o que realmente se espera.

3.2. A Importância e os Objetivos da Experimentação no Ensino de Física

É notório, entre os alunos da educação básica, que as aulas experimentais, sejam em sala de aula ou em laboratório, são mais interessantes e atrativas em todos os aspectos, pois trazem os alunos para a realidade e materializam os conceitos que são abstratos e de difícil compreensão. Dessa forma, entendendo a importância das aulas experimentais, a Universidade de Harvard, em 1886, criou uma lista de práticas experimentais para ser incluídas no currículo de Física dos alunos do Segundo Grau (Ensino Médio) que quisessem ingressar na sua Universidade (Moyer, 1976). Assim, a prática laboratorial era considerada essencial na formação dos alunos, pois provia

o treinamento em observação e estes tinham informação detalhada que estimulava o interesse desses alunos (Blosser, 1988).

A influência na experimentação é tão importante que Shulman e Tamir, no *Second Handbook of Research on Teaching* (Travers, org., 1973), listaram cinco grupos de objetivos que podem ser atingidos no uso do laboratório em aulas de ciências:

(a) habilidades – de manipular, questionar, investigar, organizar e comunicar; (b) conceitos – como hipótese, modelo teórico, categoria taxionômica; (c) habilidades cognitivas – pensamento crítico, solução de problemas, aplicação, análise, síntese; (d) compreensão da natureza da ciência – empreendimento científico, cientistas e como eles trabalham, existência de uma multiplicidade de métodos científicos, inter-relações entre ciência e tecnologia e entre as várias disciplinas científicas; (e) atitudes – como curiosidade, interesse, correr risco, objetividade, precisão, confiança, perseverança, satisfação, responsabilidade, consenso, colaboração, gostar de ciência. (Travers, org., 1973, p. 1119)

Para Séré, Coelho & Nunes (2003), em palestra na Faculdade de Física da PUC-RS, a atividade prática e as atividades experimentais despertam no aluno a necessidade do estudo teórico para desvendar um fenômeno. Por meio da experimentação, o aluno consegue materializar as leis, as teorias e os conceitos, dando sentido à linguagem física. Portanto, as práticas experimentais deixam um legado bastante positivo aos alunos, pois desenvolvem neles habilidades, conceitos, cognição etc. Essas práticas são lembradas por muito tempo, inclusive após o término do Ensino Médio. Muitos alunos quando voltam à escola para pegar seu certificado de conclusão relembram os momentos lúdicos e as atividades práticas desenvolvidas pelos professores.

3.3 Atividades Experimentais em Física e suas Dificuldades

Infelizmente, quando se trata de experimentos como ferramenta para o ensino de Física, muitos professores evitam esse método por várias razões. Entre elas, destacam-se a formação precária, a carga horária pequena diante de uma imensidão de conteúdos e a falta de estrutura dos laboratórios. Dessa forma, as pesquisas mostram que os professores são

... unânimes em destacar que, em virtude do pouco tempo e da gama imensa de conteúdos, a metodologia centra-se na aula expositiva com a utilização do

quadro e giz, praticamente inexistindo atividades como aula experimental em laboratório ou a utilização softwares para demonstrações. (Rosa & ROSA, 2005, p.13)

Assim, cada vez mais, os laboratórios de Física vão ficando subutilizados e o ensino voltado para os vestibulares, resumindo o conhecimento de Física apenas em apostilas, cujo conteúdo está baseado em memorização de fórmulas e definições desvinculadas da formação do estudante e de conhecimentos científicos importantes (Piassi, 1995).

Outro fator que vale destacar é a formação curricular de muitos professores. Devido à carência de professores licenciados em Física, muitas escolas e governos estaduais acabam contratando profissionais de áreas afins, como Matemática e Química. Não que esses profissionais não sejam capazes de ministrar boas aulas, mas eles se limitam apenas ao que está escrito na apostila e, ao utilizarem o laboratório, normalmente o fazem de forma limitada e precária, pois não possuem formação específica para trabalhar os assuntos de Física.

Por fim, é importante salientar que a grande maioria dos laboratórios de Física das escolas possuem condições mínimas para se trabalhar experimentalmente, o que, por esses e outros fatores, eles acabam se tornando mais uma sala de aula comum.

Apenas 0,6% das escolas brasileiras têm infraestrutura próxima da ideal para o ensino, isto é, tem biblioteca, laboratório de informática, quadra esportiva, laboratório de ciências e dependências adequadas para atender a estudantes... (UOL Educação, 2013)

Portanto, acredita-se que se houvesse investimentos maiores na formação dos professores de Física, dando-lhes condições de trabalho para atuarem nos laboratórios das escolas, assim como dispor de espaços físicos para as aulas práticas e locais adequados para o armazenamento dos materiais produzidos pelos alunos e professores, as aulas seriam muito mais interessantes e produtivas, quebrando esse mito de que o estudo de Física é muito difícil, de acordo com Fernandes (2008).

3.4 Contribuições das Atividades Experimentais no Ensino de Física

Muitas são as contribuições que uma aula experimental pode trazer para os alunos, porém é preciso que o professor tenha bastante cuidado na condução da aula, pois o que pode ser interessante para alguns alunos pode não ser para outros, como afirma Hodson (1994). É necessário que o professor dê liberdade aos alunos para que eles possam expressar seus conhecimentos sem nenhum constrangimento, pois, no decorrer da aula, o aluno pode adquirir várias habilidades que a prática experimental pode contribuir. Assim, destacam-se algumas contribuições importantes que a prática experimental proporciona, são elas: motivação; trabalho em equipe; capacidade de iniciativa; criatividade; observação; e analisar dados e fazer uma leitura crítica.

3.4.1 Motivação

Sem dúvida alguma, as aulas práticas são mais motivacionais. É o momento em que os alunos querem atestar se a teoria é realmente válida ou funciona, se o que o professor ensinou tem realmente sentido. Além disso, é um momento de descontração, quebra de tensões e envolvimento. Giordan (1999) afirma que as atividades experimentais são motivadoras, tanto para os alunos como para os professores.

3.4.2 Trabalho em Equipe

A prática experimental, na sua grande maioria, requer um trabalho em equipe, pois há necessidade da divisão de tarefas, conhecimento das suas próprias habilidades e dos colegas, reconhecimento de suas fragilidades e limitações etc. É nesse momento que aluno precisa aprender a respeitar a opinião dos colegas, dividir as responsabilidades, negociar e/ou abrir mão das próprias ideias, na perspectiva de buscar o bem do grupo, que é solucionar o desafio feito pelo professor, segundo Galiazzi & Gonçalves (2004).

3.4.3 Capacidade de Iniciativa

É notório, na maior parte dos alunos, que eles são passivos intelectualmente quando estão diante de uma aula em que só o professor fala. Nesses

casos, não há como o aluno questionar muito ou especular, pois ele é apenas um receptor da informação. No entanto, segundo Krasilchik (1987), quando o aluno tem acesso às variáveis, podendo manipulá-las, ele terá uma liberdade maior de expressão, especulação e formação de ideias. Dessa forma, quando são desafiados a solucionar algum problema ou fornecer explicações sobre os fenômenos observados nas práticas, os alunos são estimulados a tomar decisões e expressar suas ideias para os colegas do grupo, conforme Galiazzi & Gonçalves (2004). Isso se estende também para sua vida social, quando necessitar enfrentar situações em que precise tomar iniciativas ou decisões.

3.4.4 Criatividade

Sem dúvida alguma, a prática experimental estimula a criatividade. A construção do experimento, a adaptação, o uso dos materiais, a montagem do experimento, tudo isso contribui de forma positiva para a criatividade do aluno. Para Borges (2002), a prática experimental instiga o aluno a pensar antes da execução sobre os possíveis resultados a serem obtidos, fazendo desenhos ou esquemas que representem sua atividade experimental.

3.4.5 Observação

Cada ano que passa, fica mais difícil manter a concentração dos alunos em sala de aula, tendo em vista que existem outros atrativos poderosos, como o celular. No entanto, a prática experimental é um aliado muito forte que o professor tem para fazer com que o aluno preste atenção às aulas, pois a experimentação exige desse aluno observação e concentração, para que possa fazer suas anotações corretas, sem perder nenhuma etapa. Para Carvalho *et al* (2005), fazer o registro escrito de todo o procedimento da prática, ou seja, um relatório de tudo que foi feito durante a prática experimental, é uma forma de estimular o aprimoramento dessa habilidade (observação).

3.4.6 Analisar dados e fazer uma leitura crítica

Uma das maiores dificuldades encontradas pelos professores é fazer com que os alunos compreendam o significado dos valores encontrados nas questões de Física. Interpretar um gráfico, dar significado aos dados encontrados e fazer uma leitura crítica são desafios costumeiros do dia a dia do professor, tendo em vista que os alunos têm acesso a muitas informações, porém todas prontas. Dificilmente, os alunos desenvolverão essas habilidades com apenas o ensino tradicional, pois, nesse caso, o professor organiza e apresenta todas as informações sobre os conceitos utilizados. Para Biasoto & Carvalho (2007), as aulas experimentais ajudam os alunos a desenvolverem as habilidades de observação, reflexão, análise, assim como formular conceitos a respeito do que estão observando sobre determinado fenômeno.

Por fim, sabe-se que existem outros fatores na prática experimental que colaboram para o aprendizado dos alunos no ensino de Física, mas foram destacados os considerados principais. Na prática experimental, sempre surgem novidades, perguntas e curiosidades que só o professor poderá mediar e orientar no momento oportuno, pois os alunos aprimoram múltiplos saberes procedimentais, o que, segundo alguns pesquisadores, é fundamental para sua formação, especialmente na sociedade atual, cada vez mais cercada pela ciência e tecnologia (Gaspar, 2003).

4 O ENSINO DE FÍSICA POR MEIO DA DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO GRAVITACIONAL LOCAL

Este capítulo se destina a mostrar as variadas formas de calcular a aceleração gravitacional, utilizando os principais assuntos de Física estudados pelos alunos da educação básica. Esta parte está dividida em tópicos, que correspondem a assuntos específicos da Física. O objetivo maior é tornar o aprendizado prático/experimental sem perder a essência das descrições matemáticas e filosóficas, tendo como pretexto, para isso, a determinação da constante da aceleração da gravidade.

4.1 Tópico 1 – Determinação da Aceleração Gravitacional Local Utilizando o Pêndulo Simples

4.1.1 A Física na História

O estudo do pêndulo simples surgiu com Galileu Galilei (1564 – 1642), em 1588, quando tinha 24 anos de idade. Na época, ele frequentava a Universidade de Pisa, na Itália. Segundo a história, Galileu passou a se interessar por pêndulos quando assistia a uma missa na Catedral de Pisa, onde havia candelabros pendurados que oscilavam, porém o que lhe chamou a atenção foi o fato de que candelabros com uma amplitude de oscilação maior pareciam levar o mesmo tempo que candelabros com menor amplitude.

Em 1602, Galileu apresentou a ideia do isocronismo de pêndulos, ou seja, o período de oscilação de um pêndulo não dependia da sua amplitude (para pequenas amplitudes) e que voltava à mesma altura de onde tinha sido largado, o que hoje se admite como conservação da energia, na época, esse conceito não era conhecido. Com isso, outros desdobramentos foram descobertos, como: pêndulos mais leves cessavam a sua oscilação mais rapidamente que os que possuíam pesos maiores e que o quadrado do período de oscilação é proporcional ao comprimento do pêndulo.

Assim, o período do pêndulo foi ganhando mais confiabilidade, de modo que passou a ser utilizado para medir a pulsação dos pacientes, por alguns médicos, e em metrônomos, por estudantes de música, pois os relógios mecânicos existentes na época, que foram desenvolvidos para substituir os relógios feitos de água,

adiantavam ou atrasavam de forma imprevisível, tornando-se inadequados para fazer medições.

Em 1641, Galileu fez uma adaptação do pêndulo em relógios utilizando pesos e molas, pois acreditava que os defeitos dos relógios convencionais pudessem ser corrigidos pelo movimento periódico intrínseco aos pêndulos. Dessa forma, ele conseguiu construir, com o auxílio do seu filho Vincenzo, pois já estava completamente cego, novos relógios muito mais precisos, uma vez que o período do pêndulo depende do seu comprimento, uma variável fácil de controlar.

Quinze anos depois da morte de Galileu, em 1657, Christiaan Huygens (1629-1695) demonstrou que o pêndulo não é precisamente isócrono para grandes amplitudes de oscilação, pois o período do pêndulo simples passa a ser tanto maior quanto maior for sua amplitude de oscilação. Porém, há um consenso de que, para pequenas amplitudes, o período do pêndulo simples independe de sua amplitude, como Galileu havia descrito. Assim, neste tópico serão consideradas pequenas amplitudes.

4.1.2 As Primeiras Determinações da Aceleração Gravitacional

As tentativas de Galileu não foram satisfatórias, pois nunca obteve com precisão a aceleração da gravidade. Os valores obtidos por ele foram próximos de 4 m/s^2 . No entanto, ele sabia que a aceleração é a mesma para todos os corpos em queda livre.

Posteriormente, o padre Mersenne (1588 – 1648), depois de diversas tentativas, conseguiu achar um valor melhor que os encontrados por Galileu, medindo a aceleração gravitacional através do tempo de queda, na ordem de aproximadamente 8 m/s^2 (Koyré, 1988).

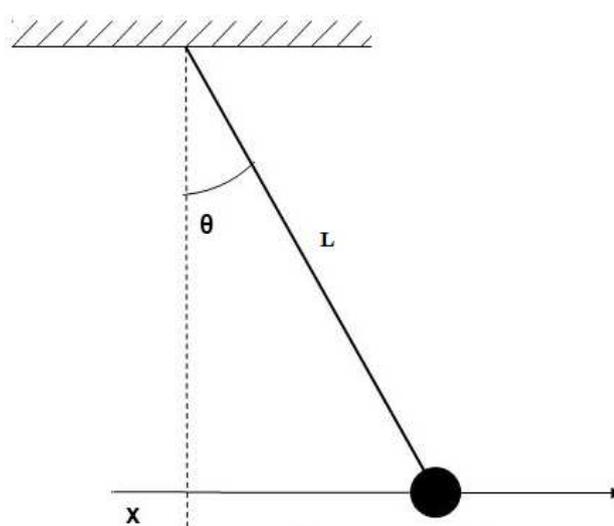
Em 1659, Huygens refez o último experimento de Mersenne, encontrando valores entre 9 e 10 m/s^2 (Koyré, 1988). No entanto, ele sabia que, enquanto não houvesse um cronômetro confiável, não era possível medir o tempo de queda com precisão. Nesse mesmo ano, Huygens encontrou a relação entre o período do pêndulo e a aceleração gravitacional. Assim, não era mais necessário saber o tempo de queda, e, sim, a medida do período e do comprimento do pêndulo.

4.1.3 O Método de Bessel

O método de Bessel é o mais indicado para os alunos da educação básica, pois é possível obter-se a aceleração gravitacional utilizando um pêndulo simples. Isso porque a equação do pêndulo, para pequenas amplitudes, é bastante conhecida dos alunos do Ensino Médio e tem suas variáveis fáceis de serem medidas.

O experimento consiste de uma esfera de massa m presa a um fio, de massa desprezível e inextensível de comprimento L , preso a uma haste fixa, conforme Figura 1. Medem-se, então, o comprimento do fio e o período (razão entre o tempo e o número de oscilações).

Figura 1 – Pêndulo simples

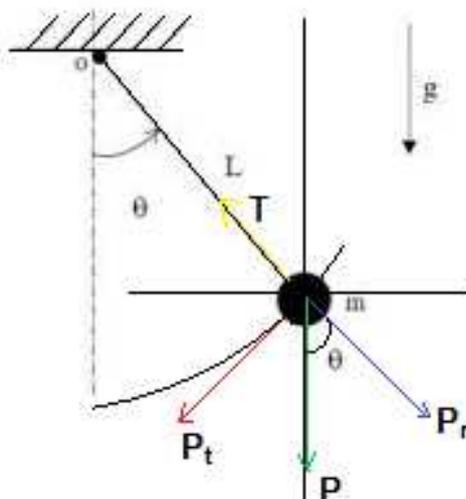


Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.3.1 Demonstração da Equação da Aceleração Gravitacional em Função do Tempo e do Comprimento do Pêndulo

Considera-se que o pêndulo irá oscilar em baixa amplitude, ou seja, o comprimento do fio é muito maior que a amplitude. Assim, pode-se considerar que a oscilação do pêndulo descreve um movimento harmônico simples – MHS. Na Figura 2, a seguir, estão localizadas as forças que atuam no sistema.

Figura 2 – Pêndulo simples com aplicação das forças atuantes



Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 2, tem-se que: L é o comprimento do fio; θ é o ângulo entre L e a vertical; m é a massa da partícula; g é a aceleração gravitacional; T é a tração no fio; P é o peso da partícula; P_r é a componente do peso radial ao sistema; P_t é a componente do peso tangencial ao percurso descrito pela partícula.

Agora, fica fácil observar que as forças que atuam no sistema são: P_t , P_r e T . Nota-se que a força resultante, entre T e P_r , é a força centrípeta, que tem a mesma direção da tração T , e que a força responsável pelo movimento da partícula é a componente do peso tangencial à trajetória (P_t).

Determinando o valor do módulo das componentes P_r e P_t , tem-se que:

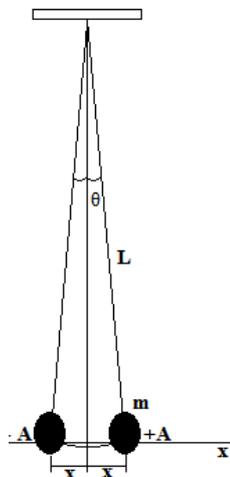
$$P_t = P \cdot \text{Sen}\theta = m \cdot g \cdot \text{Sen}\theta \quad (\text{eq. 1})$$

e

$$P_r = P \cdot \text{Cos}\theta = m \cdot g \cdot \text{Cos}\theta \quad (\text{eq. 2})$$

Como se pode observar na Figura 2, a trajetória descrita pelo pêndulo é um arco de circunferência. Porém, a amplitude será tornada muito menor que o comprimento ($A \ll L$), como mostra a Figura 3, abaixo. Isso porque quer-se que o pêndulo se comporte como um oscilador harmônico simples, como havia sido dito anteriormente. Dessa forma, a trajetória do pêndulo passa a ser considerada uma reta, e não um arco de circunferência.

Figura 3 – Pêndulo com pequena elongação



Fonte: elaborado pelo autor.

Considerando essa aproximação, pode-se escrever:

$$\text{Sen } \theta = \frac{x}{L} \quad (\text{eq. 3})$$

Substituindo a (eq. 3) na (eq. 1), tem-se que o módulo de \mathbf{P}_t vale:

$$P_t = \frac{mg}{L} x \quad (\text{eq. 4})$$

Agora que se tem uma amplitude muito pequena e pode-se escrever o movimento do pêndulo como MHS, vale lembrar que o módulo e o sentido da força que atua sobre uma partícula são dados, genericamente, por:

$$F(x) = -K \cdot x \quad (\text{eq. 5})$$

Onde $F(x)$ é a força restauradora e $K = m \cdot \omega^2$.

A determinação de K pode ser expressa, de forma simplificada, pela conservação da energia mecânica, onde a energia cinética é toda transformada em energia potencial elástica. Assim, tem-se que:

$$E_c = E_{pe}$$

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

$$\frac{v^2}{x^2} = \frac{k}{m}$$

$$\left(\frac{v}{x}\right)^2 = \frac{k}{m}$$

$$\frac{v}{x} = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Onde x é o deslocamento máximo, ou seja, x é a amplitude do oscilador e $v = w \cdot x$. Assim, pode-se escrever:

$$\frac{w \cdot x}{x} = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$w = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Logo, pode-se reescrever a (eq. 5) da seguinte forma:

$$F(x) = -m \cdot w^2 \cdot x \quad (\text{eq. 6})$$

O período (T) é dado como sendo:

$$T = \frac{2\pi}{w} \rightarrow w = \frac{2\pi}{T}$$

Reescrevendo novamente a equação (eq. 5), tem-se:

$$F(x) = -m \cdot x \cdot \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \quad (\text{eq. 7})$$

Vale ressaltar que $F(x)$ é uma força restauradora e que a (eq. 7) é geral para sistema MHS. Assim, considerando o movimento do pêndulo como um movimento MHS e que Pt representa a força restauradora do pêndulo, conclui-se que:

$$F(x) = Pt$$

Portanto:

$$-m \cdot x \cdot \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = -\frac{mg}{L} \cdot x$$

Foi inserido um sinal negativo em Pt , porque passou-se a considerá-la como força restauradora. Por fim, isolando g (aceleração gravitacional), deduz-se que:

$$g = \frac{4 \cdot \pi^2}{T^2} \cdot L \quad (\text{eq. 8})$$

No entanto, quer-se deixar a equação com as variáveis que serão calculadas no laboratório. Para isso, é necessário lembrar que:

$$T = \frac{1}{f}$$

Onde f é a frequência de oscilação.

$$f = \frac{n}{t}$$

Onde n é o número de oscilações, e t é o tempo gasto para as oscilações.

Assim, pode-se escrever o período da seguinte forma:

$$T = \frac{t}{n}$$

Dessa forma, pode-se reescrever a (eq. 8) num formato pronto para ser utilizada no experimento. Ficando assim:

$$g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot L \cdot n^2}{t^2} \quad (\text{eq. 9})$$

4.2 Tópico 2 – Determinação da Aceleração Gravitacional Utilizando a Hidrostática

4.2.1 A Física na História

A hidrostática é um assunto muito importante dentro da Física, pois ela é responsável por estudar os líquidos e gases em repouso, sob a ação de um campo gravitacional constante. Seu estudo foi desenvolvido inicialmente por Arquimedes (287 a.C – 212 a.C), um grande inventor, matemático e físico.

Arquimedes nasceu na cidade portuária de Siracusa, na Sicília, uma colônia da Grécia. Adquiriu seus conhecimentos de ciências em Alexandria e tinha uma forma singular de descrever um fenômeno. Segundo Pires (2008), Aristóteles fez da estática uma ciência racional e autônoma. Introduziu na ciência o método demonstrativo clássico em que teoremas são obtidos por meio de regras e inferências, a partir de axiomas ou postulados e teoremas já demonstrados.

Segundo a literatura, conta-se que o rei Hieron pediu a um ourives para confeccionar uma coroa de ouro puro. Porém, o rei desconfiou que houvesse sido enganado, pois achava que a ela não era feita totalmente de ouro puro, mas, sim, de ouro e prata, e que parte do ouro havia sido roubado. Indignado com o fato de ter sido roubado, entregou a coroa a Arquimedes e pediu para ele verificar se ela era feita apenas de ouro.

Arquimedes não tinha ideia de como comprovar ao rei a pureza da coroa. Até que, certo dia, enquanto tomava banho na banheira, ele observou que, à medida que seu corpo mergulhava na banheira, a água transbordava, descobrindo o método para a solução do problema, pois a quantidade de água derramada correspondia ao volume do seu corpo imerso na banheira. Dessa forma, ele pegou uma mesma quantidade de massa de ouro e outra de prata e submergiu cada uma num recipiente totalmente cheio. Assim, ao mergulhar a massa de ouro e de prata, um volume de água seria derramado ou deslocado, determinando o volume ocupado por uma massa feita totalmente de ouro e outra totalmente de prata.

Por fim, Arquimedes submergiu a mesma quantidade de massa da coroa, porém feita de ouro puro, e marcou o volume deslocado. Quando ele inseriu a coroa feita pelo ourives, percebeu que o volume deslocado não era o mesmo. Fez o mesmo com a massa de prata, para saber a quantidade de líquido deslocado. Concluiu, então,

que a coroa do rei era uma mistura de ouro e prata, pois o volume deslocado dela estava entre a medida do volume deslocado do ouro e da prata.

Assim, Arquimedes descreveu que todo corpo submerso em um líquido desloca desse líquido uma quantidade determinada, cujo volume é exatamente igual ao volume do corpo submerso, e o corpo submerso no líquido “perde” de seu peso uma quantidade igual ao peso do volume de líquido igual ao volume submerso do corpo.

4.2.2 O Teorema de Arquimedes

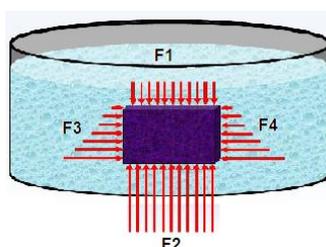
É fácil perceber que, quando se insere um corpo em um recipiente com água, tem-se a sensação de que ele fica mais leve, ou seja, o seu peso se torna menor em relação ao peso fora da água. Isso só é possível se houver uma força atuando verticalmente para cima.

Doca, Gualter & Newton (2010, p. 401) descreveram o enunciado do Teorema de Arquimedes da seguinte forma:

Quando um corpo é imerso total ou parcialmente em um fluido em equilíbrio sob a ação da gravidade, ele recebe do fluido uma força denominada empuxo. Tal força tem sempre direção vertical, sentido de baixo para cima e intensidade igual à do peso do fluido deslocado pelo corpo.

Imagina-se um líquido homogêneo de densidade μ , contido num recipiente qualquer, como mostra a Figura 4, abaixo. Considere também que o sistema está em equilíbrio sob a ação da gravidade local (g) e que há um corpo totalmente submerso e em repouso neste líquido.

Figura 4 – Recipiente com líquido e um corpo completamente imerso



Fonte: http://images.slideplayer.com.br/6/1670229/slides/slide_28.jpg.

Pode-se observar que as forças F_3 e F_4 são iguais, portanto elas se anulam. No entanto, as F_1 e F_2 são diferentes ($|F_2| > |F_1|$), pois a coluna de água que pressiona a parte superior do corpo imerso é diferente da coluna de água que pressiona a sua base. Assim, a resultante vertical é dada por:

$$Fr = F_2 - F_1$$

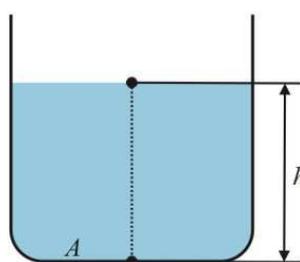
A força resultante que o líquido exerce (Fr) é vertical e para cima e é denominada de Empuxo (**E**).

$$E = F_2 - F_1 \quad (\text{eq. 1})$$

4.2.3 O Teorema de Stevin

Considera-se um recipiente com um líquido homogêneo de densidade μ em equilíbrio sob a ação da gravidade (g), como mostra a Figura 5. Quer-se, então, calcular a pressão exercida pelo líquido na base do recipiente, cuja altura da coluna de líquido é h .

Figura 5 – Recipiente em equilíbrio hidrostático



Fonte: elaborado pelo autor.

Seja a pressão dada pela razão entre a força exercida e a área de aplicação dessa força, tem-se:

$$p = \frac{F}{A}$$

Como **F** é a força peso, pode-se escrever que: $F = m \cdot g$

Logo:

$$p = \frac{m \cdot g}{A}$$

Como se quer escrever em termos de densidade, pode-se reescrever a equação, considerando que:

$$m = \mu \cdot V$$

Onde μ é a densidade do líquido, e V , o volume. Portanto, conclui-se que a pressão (p) entre dois pontos quaisquer, exercidos por um líquido em função da densidade (μ), altura (h), área (A) e aceleração gravitacional (g), é dada pela expressão:

$$p = \frac{\mu \cdot V \cdot g}{A} \quad (\text{eq. 2})$$

Agora, pode-se definir o empuxo (E) em função da pressão do líquido, pois:

$$p = \frac{F}{A} \rightarrow F = p \cdot A \quad (\text{eq. 3})$$

Substituindo a equação (3) em (1), tem-se:

$$E = p_2 \cdot A - p_1 \cdot A = (p_2 - p_1) \cdot A = p \cdot A$$

$$E = p \cdot A \quad (\text{eq. 4})$$

Pode-se concluir, substituindo a equação (2) em (4):

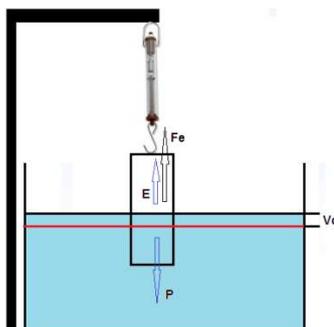
$$E = \frac{\mu \cdot V \cdot g}{A} \cdot A$$

$$E = \mu \cdot V \cdot g \quad (\text{eq. 5})$$

4.2.4 Determinação da Aceleração Gravitacional por meio do Teorema de Arquimedes

Considera-se que um corpo de massa (m) esteja parcialmente submerso num líquido homogêneo de densidade (μ) e em equilíbrio preso por um dinamômetro após ter deslocado certo volume, como mostra a Figura 6, abaixo.

Figura 6 – Equipamento montado e em equilíbrio



Fonte: elaborado pelo autor.

Olhando para a figura, tem-se que o equilíbrio das forças exercidas sobre o corpo, parcialmente imerso, é:

$$E + Fe = P \quad (\text{eq. 6})$$

onde: **E** é o empuxo, **Fe** é a força elástica da mola do dinamômetro, e **P**, o peso do corpo. Dessa forma, pode-se escrever a (eq. 6) substituindo o valor de **E** da (eq. 5).

$$E + Fe = P$$

$$\mu \cdot Vd \cdot g + Fe = P, \text{ onde } Vd \text{ é o volume deslocado.}$$

Por fim, tem-se que a aceleração gravitacional poderá ser calculada pela expressão abaixo:

$$g = \frac{P - Fe}{\mu \cdot Vd}$$

4.3 Tópico 3 – Determinação da Aceleração Gravitacional Utilizando a Ondulatória

4.3.1 A Física na História

Neste tópico, será determinada a aceleração gravitacional por meio da ondulatória, mais precisamente pela onda produzida por uma corda tracionada. Para isso, precisa-se conhecer a fundamentação teórica necessária para que se possa chegar a uma equação que dê a aceleração gravitacional.

A primeira coisa que se precisa definir é o conceito de onda. Uma onda é qualquer perturbação de um meio que se transmite de um ponto a outro, sem que haja transporte de matéria, conforme Nussenzveig (2014).

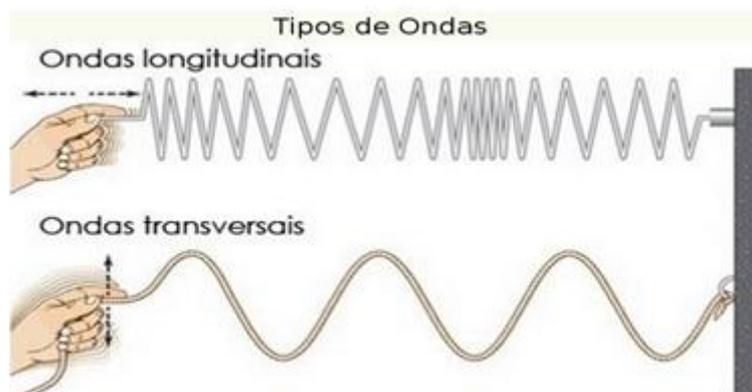
Pode-se citar como exemplo quando uma pedra é jogada numa lagoa de águas tranquilas. Após a pedra chocar-se com a água, uma onda será produzida, de modo que um objeto flutuante na superfície da água irá mover-se para cima e para baixo. Os pontos mais altos da onda são chamados de cristas, e os pontos mais baixos são chamados de vales.

As ondas podem ser classificadas quanto à sua natureza, ou seja, elas podem ser mecânicas ou eletromagnéticas. As ondas mecânicas obrigatoriamente necessitam de um meio para se propagar. O que não se exige das eletromagnéticas, que podem se propagar no vácuo.

A propagação das ondas pode se dar de três formas: unidimensional, bidimensional e tridimensional. Quando a onda propaga-se em uma direção, como é o caso de uma onda em cordas, diz-se que ela é unidimensional. Quando ela propaga-se em duas direções, como a onda na superfície de um lago, diz-se que ela é bidimensional. E, por fim, quando ela propaga-se em todas as direções, como é o caso de uma onda sonora, diz-se que ela é tridimensional.

Quanto à direção de vibração, elas podem ser transversais ou longitudinais. Quando uma onda propaga-se na direção perpendicular ao seu movimento, diz-se que ela é transversal. Se ela se propagar na mesma direção do seu movimento, diz-se que ela é longitudinal. A Figura 7, abaixo, ilustra exemplos de onda transversal e onda longitudinal.

Figura 7 – Exemplos de onda transversal e onda longitudinal

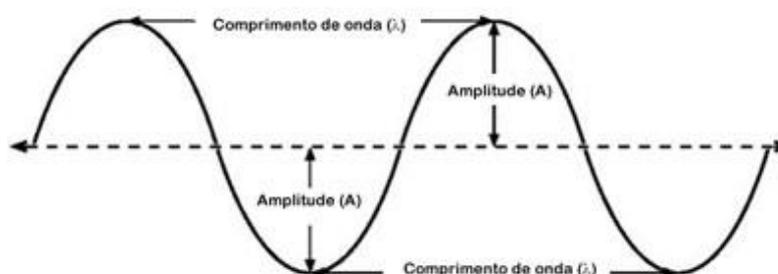


Fonte: <http://www.eav.eng.br/tech/fisica/Tiposdeondas.html>.

Todas as ondas possuem características comuns, ou seja, elas têm grandezas físicas que independem de sua natureza, tipo de vibração ou propagação. Essas grandezas físicas são: comprimento, número de onda, amplitude, frequência, período e velocidade de onda.

O comprimento de onda é o seu tamanho, ou seja, é a distância de um ciclo completo entre dois vales ou duas cristas consecutivas. O número é a quantidade de ciclos da onda registrada num determinado intervalo de tempo. A amplitude é a medida da magnitude da perturbação em um meio durante um ciclo de onda; sua medida é dada pelo máximo afastamento, durante a oscilação, em relação à posição de equilíbrio. O período é o tempo gasto pela onda para finalizar um ciclo completo. A frequência é o número de oscilações feitas por unidade de tempo. A velocidade da onda é a distância percorrida por um ciclo completo num determinado tempo. A Figura 8, abaixo, mostra uma onda transversal.

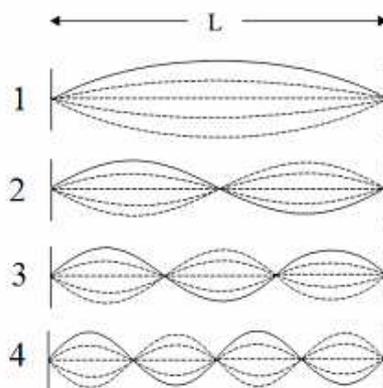
Figura 8 – Comprimento de onda e amplitude



Fonte: <http://www.explicatorium.com/cfq-8/caracteristicas-das-ondas.html>.

As ondas podem ser classificadas pelo seu tipo. Elas podem ser do tipo: estacionária ou progressiva (senoidal). As ondas estacionárias, como o próprio nome já sugere, são as que permanecem no mesmo lugar. Quando uma corda sofre uma perturbação, a onda produzida propaga-se por toda a corda, refletindo-se nas suas extremidades fixas. Dessa forma, a interferência de duas ondas iguais que se propagam em sentidos opostos produz uma onda estacionária, ou seja, uma oscilação que aparenta não se mover através do material. Os nodos resultam da interferência (destrutiva) entre a crista e o vale de duas ondas. Nos antinodos, onde o deslocamento é máximo, a interferência se dá entre duas cristas ou dois vales de onda. Cada padrão de oscilação corresponde a uma determinada frequência, que se chama um harmônico. As frequências de vibração variam com o comprimento da corda e com as suas características (material, tensão, espessura), que determinam a velocidade de propagação das ondas. A frequência mais baixa a que a corda vibra chama-se frequência fundamental.

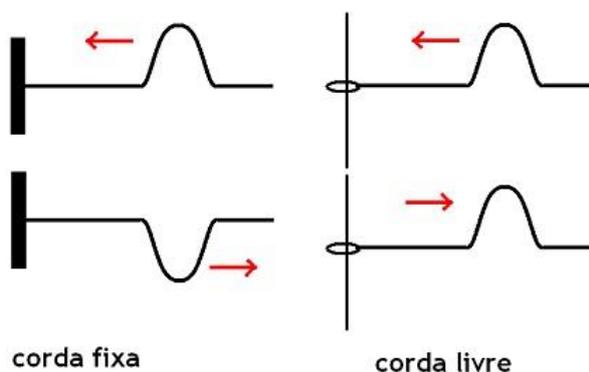
Figura 9 – Frequência fundamental e harmônicos



Fonte: <http://www.infoescola.com/fisica/harmonica/>.

Por fim, este estudo destaca as propriedades físicas comuns em situações padrões, como reflexão, refração, difração, interferência, dispersão, vibração e polarização. Dentre estas, será destacada a reflexão, em que se tem a onda voltando para o mesmo meio de onde ela surgiu. Essa reflexão pode ocorrer de duas formas: a onda pode ser refletida no mesmo sentido de propagação ou no sentido oposto à propagação.

Figura 10 – Comportamento da onda com corda fixa e livre



Fonte: elaborado pelo autor.

Quando a onda é refletida no mesmo sentido de propagação, é porque a sua extremidade é livre. No entanto, quando a extremidade é fixa, a onda propaga-se no sentido oposto à propagação original.

Portanto, para alcançar o objetivo deste estudo, que é determinar a aceleração gravitacional, será considerada uma onda mecânica, transversal, unidimensional, estacionária e tensionada.

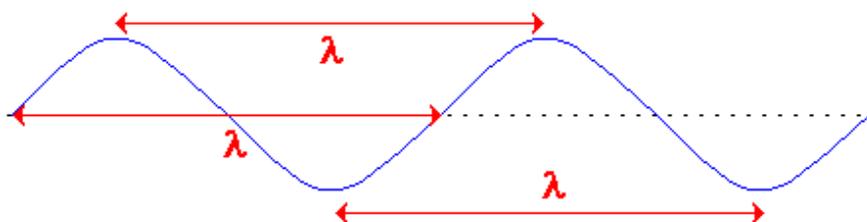
4.3.2 Velocidade de uma Onda

A velocidade de uma onda em um meio é dada pela velocidade com que o pulso dessa onda se propaga nesse meio. Assim, pode-se considerar a velocidade desse pulso como sendo a velocidade média, dada por:

$$V_m = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

onde ΔS é o espaço percorrido pelo pulso. Essa velocidade pode ser calculada usando o comprimento de onda, que é a distância percorrida por ela num tempo de um período. Pode-se encontrar a comprimento, pelo menos, de três formas, conforme a Figura 11, abaixo.

Figura 11 – Medida do comprimento de onda



Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=comprimento+de+onda>.

Assim, pode-se calcular a velocidade da onda, dada por:

$$V_m = \frac{\Delta S}{\Delta t} \rightarrow v = \frac{\lambda}{T}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

$$v = \lambda \cdot f \quad (\text{eq.1})$$

onde λ é o comprimento de onda (metros) e T é o período (segundos).

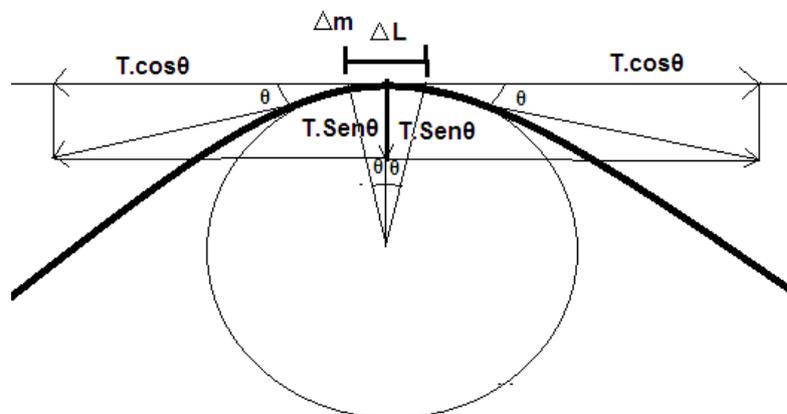
4.3.3 Fórmula de Taylor

As cordas tensionadas, ou seja, cordas esticadas, constituem ótimos meios para a observação da propagação de ondas transversais. As cordas de um violão exemplificam muito bem essa situação. Pode-se ver que, em relação à propagação de um pulso transversal ou de uma onda periódica transversal na corda, a velocidade com que uma onda periódica se propaga depende da densidade linear (μ) da corda e da intensidade da força tensora (T) a que ela está sujeita. Esse estudo, feito experimentalmente por Marin Mersenne, com cordas vibrando com baixa frequência e cordas de instrumentos sonoros, no entanto, foi utilizado matematicamente pelo britânico Brook Taylor.

Apresenta-se, agora, a fórmula de Brook Taylor de uma forma bastante simplificada, tendo em vista que o alvo maior é o aluno da educação básica. Para isso,

analisa-se um pedaço muito pequeno de uma corda homogênea tensionada, cujo objeto de análise é um pulso que está se propagando. Observe a Figura 12, abaixo.

Figura 12 – Análise de um pedaço muito pequeno da corda



Fonte: elaborado pelo autor.

Fazendo a decomposição das forças que atuam na corda, observa-se que as forças horizontais ($T \cdot \cos\theta$), onde T é a tração da corda, anulam-se, pois estão na mesma direção e em sentidos contrários. No entanto, as forças verticais possuem mesma direção e mesmo sentido, que nos dão como força resultante (F_r) a soma, ou seja:

$$F_r = 2 \cdot T \cdot \text{Sen}\theta$$

onde θ é muito pequeno, de modo que pode-se fazer a aproximação de $\text{Sen}\theta \approx \theta$ sem prejuízo algum para a equação. Assim, pode-se escrever:

$$F_r = 2 \cdot T \cdot \theta$$

Pode-se definir θ usando uma expressão matemática para calcular o ângulo de uma circunferência. Assim, segue:

$$2 \cdot \theta = \frac{\Delta L}{r}$$

onde ΔL é uma fração muito pequena da corda e r é o raio da circunferência formada pelo pulso de onda. Dessa forma, pode-se reescrever a equação:

$$Fr = \frac{\Delta L}{r} \cdot T$$

Vale lembrar que a força resultante (Fr) atuando na corda, em movimento circular, é a própria força centrípeta, que é escrita:

$$Fr = F_{cp} = \frac{\Delta m \cdot v^2}{r}$$

Igualando os termos definidos, tem-se:

$$\frac{\Delta L}{r} \cdot T = \frac{\Delta m \cdot v^2}{r}$$

$$v^2 = \frac{T}{\frac{\Delta m}{\Delta L}}$$

onde μ é a densidade linear da corda, que é dada por $\mu = \frac{\Delta m}{\Delta L}$.

Assim, a fórmula de Taylor pode ser escrita, para uma corda tracionada, da seguinte forma:

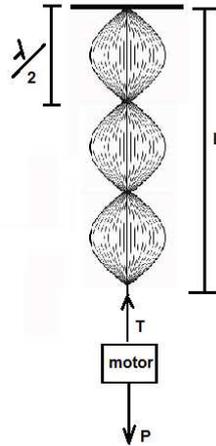
$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (\text{eq. 2})$$

4.3.4 Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio de uma Corda Tensionada

Para determinar a aceleração gravitacional por meio de uma corda homogênea e tracionada, será utilizada a fórmula de Taylor. Nesse caso, será considerado um motor (vibrador) de massa **M**, cuja frequência é conhecida, e uma

corda de massa m e comprimento L , também conhecidos, ou seja, medidos em laboratório. Será utilizado o experimento conforme a Figura 13, abaixo.

Figura 13 – Corda tensionada



Fonte: elaborado pelo autor.

Na figura acima, tem-se a fonte vibratória tensionando uma corda com seu próprio peso, e o sistema está completamente em equilíbrio, donde conclui-se que:

$$T = P$$

$$T = M \cdot g$$

Para n nós, pode-se escrever de modo geral da seguinte forma:

$$n \cdot \frac{\lambda}{2} = L \rightarrow \lambda = \frac{2L}{n} \quad (\text{eq. 3})$$

De acordo com a fórmula de Taylor, tem-se que:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

$$v^2 = \frac{M \cdot g}{\mu} \quad (\text{eq. 4})$$

Lembrando-se da (eq.1) e substituindo na (eq.4), tem-se que:

$$(\lambda \cdot f)^2 = \frac{M \cdot g}{\mu}$$

$$g = \frac{(\lambda \cdot f)^2 \cdot \mu}{M}$$

Substituindo λ da (eq. 3), tem-se:

$$g = \frac{(2L \cdot f)^2 \cdot \mu}{n^2 \cdot M}$$

$$g = \frac{4\mu}{M} \cdot \left(\frac{L \cdot f}{n}\right)^2$$

Dessa forma, conclui-se a equação para determinar a aceleração gravitacional local em função da densidade linear da corda (μ), a massa do motor (M), o comprimento da corda (L), o número de nós (n) e a frequência do motor (f).

4.4 Tópico 4 – Determinação da Aceleração Gravitacional Utilizando Roldanas

4.4.1 A Física na História

Neste tópico, será determinada a aceleração gravitacional local utilizando os conhecimentos de roldanas (polias). Antes de fazer qualquer descrição matemática, deve-se ressaltar a importância das roldanas na vida humana.

Em busca de melhorar e facilitar as condições de trabalho e o esforço físico, o homem desenvolveu meios que pudessem tornar menor o seu desgaste muscular. Essa ideia foi criada inicialmente pelo filósofo grego Arquimedes, no século III a.C. Mais tarde, no mesmo século, Heron de Alexandria, em seu trabalho *Mecânica*, lista cinco mecanismos que podem colocar uma carga em movimento, a saber: alavanca, molinete, polia, plano inclinado e parafuso. Todos esses meios ficaram conhecidos como máquinas simples pelos renascentistas.

As máquinas simples são dispositivos que, apesar de levar esse nome, trouxeram grandes avanços para a humanidade e foi a base para o desenvolvimento de todas as outras ferramentas que surgiram posteriormente ao longo da história. Sua vantagem é a capacidade de alterar a força aplicada a um corpo, ou simplesmente mudá-la de direção e sentido. Dentre todas as máquinas simples, este trabalho irá focar na roldana, pois ela é o objeto deste estudo. Segundo Ferrer *et al* (2011), a roldana é uma roda que gira ao redor de um eixo que passa por seu centro. Na borda da roldana, existe um sulco em que se encaixa uma corda ou um cabo flexível, ou corrente. O sulco é conhecido como garganta, gola ou gorne (Figura 14).

Figura 14 – Componentes de uma roldana

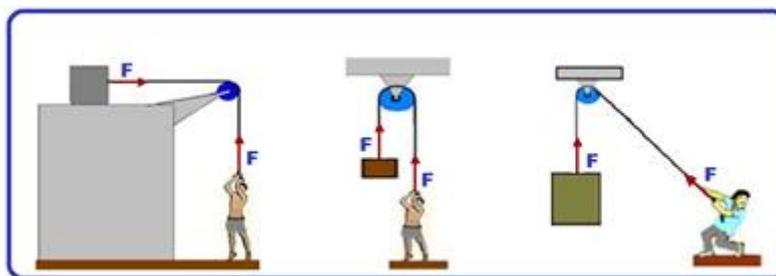


Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=polias>.

Muitas são as aplicações das polias desde os tempos mais remotos até os dias de hoje, como: retirada de água de um poço profundo; elevação de objetos pesados na construção civil; nos elevadores etc. Assim, as polias podem ser classificadas de dois tipos: fixas ou móveis.

As polias fixas são muito utilizadas quando se pretende alterar a direção e o sentido de forças transmitidas por cordas, sem alterar o módulo destas (Figura 15). Essa definição é válida para roldanas ideais, que não têm atrito e cuja massa é desprezível. A influência da massa da roldana só é importante em sistemas acelerados.

Figura 15 – Direção da força aplicada

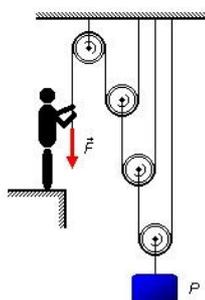


Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=polias.>

No sistema de roldanas da Figura 15, sua função como máquina simples é apenas a de inverter o sentido da força aplicada, isto é, se for aplicada uma força de cima para baixo numa das extremidades da corda, a polia transmite à carga, para levantá-la, com uma força de baixo para cima. Isso é vantajoso, porque uma pessoa pode aproveitar o próprio peso (ou um contrapeso) para cumprir a tarefa de levantar um corpo.

As polias móveis, ou roldanas móveis, são máquinas simples bastante utilizadas para diminuir a intensidade da força aplicada para sustentar um corpo de massa qualquer, ou seja, parte da força é distribuída no teto (ou suporte onde as polias estejam fixadas) sustentando todo o conjunto. Nesse tipo de sistema, normalmente há uma polia fixa e as outras são móveis (Figura 16), e a força aplicada é reduzida conforme o número de polias móveis existentes no sistema.

Figura 16 – Sistemas de roldanas livres



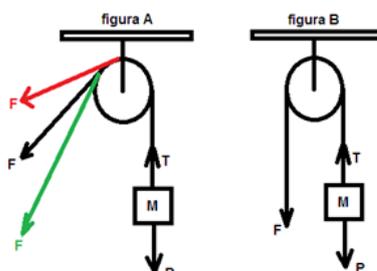
Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=polias.>

4.4.2 Força Aplicada Utilizando Polia Fixa

O sistema de polia fixa, como foi dito anteriormente, não diminui em nada a força aplicada, porém facilita a aplicação da força, pois há uma mudança de sentido

e, em alguns casos, mudança de direção. A Figura 17 mostra como ficam as forças atuantes no sistema.

Figura 17 – Aplicação da força em várias e uma direção



Fonte: elaborado pelo autor.

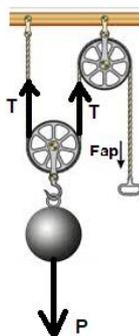
Observando a Figura 17 e considerando o sistema em equilíbrio, é possível verificar que a tração da corda é igual ao peso do corpo e que, independentemente da direção da força aplicada, o seu valor não muda. Sendo assim, pode-se escrever:

$$F = T = P = m \cdot g \quad (\text{eq. 1})$$

4.4.3 Força Aplicada Utilizando Polia Móvel

No caso de ser utilizada polia móvel, é necessário que haja uma polia fixa no sistema para que se possa ter uma mudança de direção, pois o intuito é a facilitação do esforço. A Figura 18, abaixo, mostra como ficam as forças atuantes no sistema.

Figura 18 – Aplicação das forças



Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=polias> (adaptada).

De acordo com a Figura 18 e as forças aplicadas ao sistema, percebe-se que a corda é uma só, o que garante que a força aplicada (F_{ap}) é a tração (T) do fio. No entanto, considerando que o corpo está em equilíbrio, o valor da tração pode ser calculado da seguinte forma:

$$2.T = P$$

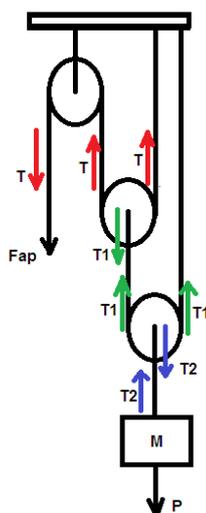
$$T = \frac{P}{2}$$

$$F_{ap} = \frac{P}{2}$$

Assim, conclui-se que, para um sistema de uma polia móvel, a força aplicada é a metade do peso do corpo.

Considera-se outro sistema com duas polias móveis para observar o valor da força aplicada ao sistema, conforme a Figura 19, abaixo.

Figura 19 – Aplicação das forças num sistema de duas polias livres



Fonte: elaborado pelo autor.

Considerando que o sistema está totalmente em equilíbrio e fazendo o somatório das forças, tem-se que:

$$T_2 = P$$

$$2.T_1 = T_2 = P$$

$$T_1 = \frac{P}{2}$$

$$2.T = T_1 = \frac{P}{2}$$

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

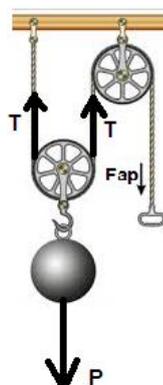
$$T = F_{ap} = \frac{P}{2^2}$$

Assim, conclui-se que a força aplicada no sistema é quatro vezes menor que o peso do corpo. Dessa forma, pode-se deduzir que, para um sistema de n polias móveis, a força aplicada se reduz a 2^n , pois para uma polia móvel reduziu-se para 2^1 , para duas polias móveis, 2^2 .

4.4.4 Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio de Roldanas (Polias)

Agora, será descrita a equação da aceleração gravitacional local usando o sistema de polias móveis, conforme mostrado nos tópicos anteriores, com o objetivo de determinar o valor da aceleração gravitacional local. Na polia móvel, coloca-se um corpo de massa M e, na outra extremidade da corda, coloca-se o dinamômetro, que irá registrar a força aplicada na corda, de acordo com a Figura 20, abaixo.

Figura 20 – Sistema de uma polia móvel



Fonte: elaborado pelo autor.

$$2.T = P$$

$$F_{ap} = T = \frac{P}{2} = \frac{M \cdot g}{2}$$

Isolando g da equação, tem-se:

$$g = \frac{2 \cdot F_{ap}}{M}$$

Dessa forma, encontra-se a equação da aceleração gravitacional local, onde a força aplicada (F_{ap}) é registrada pelo dinamômetro e a massa M é conhecida.

4.5 Tópico 5 – Determinação da Aceleração Gravitacional Utilizando a Força Peso

4.5.1 A Física na História

A força peso está presente em todos os corpos que estão sobre a superfície terrestre. Isso é fácil de perceber, porém muitos esforços foram feitos durante séculos para buscar uma explicação. Uma das primeiras tentativas de explicar foi feita pelo filósofo grego Aristóteles, que concluiu que os objetos mais pesados chegariam mais rápidos que os mais leves. Essa ideia foi aceita até o século XVII, pois Galileu Galilei apresentou sua explicação dizendo que todos os objetos tinham a mesma aceleração, desde que nenhuma força externa ou resistência do ar os freasse.

Assim, todo corpo que possui massa está sujeito a uma força gravitacional, pois há uma força de interação entre a massa do corpo e a massa da Terra. Essa interação é devido ao campo gerado pelas massas. Dessa forma, pode-se definir o peso (ou força peso) como sendo uma força de atração gravitacional entre a massa da Terra e a massa de um corpo qualquer na sua superfície, dirigida verticalmente para baixo. Segundo Nussenzveig (2014), a força peso pode ser descrita também como sendo a taxa de variação temporal do momento. Portanto, graças à proporcionalidade dessa força à massa inercial é que se pode garantir que a aceleração gravitacional é a mesma para qualquer corpo.

É importante deixar claro, para evitar possível confusão, que o conceito de massa e o de peso são diferentes, pois a massa está relacionada à quantidade de matéria

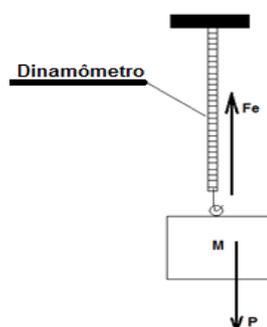
(grandeza escalar) e o peso é uma força (grandeza vetorial), como já havia sido definido anteriormente. Sendo assim, a massa de um corpo é sempre constante em qualquer lugar. O mesmo não se pode afirmar em relação à força peso, pois, dependendo do lugar, podem-se ter dois valores de peso para uma mesma massa. Por exemplo: o peso de uma massa de 20 kg na Terra vale aproximadamente 200 Newton, pois a aceleração gravitacional tem valor próximo de 10 m/s^2 . Porém, a mesma massa na Lua, cuja gravidade é de aproximadamente $1,622 \text{ m/s}^2$ ^[1], tem valor de aproximadamente 32 Newton.

Portanto, o peso de um corpo depende da aceleração gravitacional do local. Na própria Terra, é possível ter valores para aceleração gravitacional diferentes, pois a altitude e a longitude interferem no valor da gravidade. Por exemplo, os corpos têm peso maior nas baixas altitudes em relação ao nível do mar, porque a intensidade da aceleração da gravidade aumenta com a diminuição da distância ao centro da Terra e aumenta do Equador aos polos.

4.5.2. Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio da Força Peso

A determinação da aceleração gravitacional local utilizando os conceitos de dinâmica, especificamente a força peso, que faz parte da Segunda Lei de Newton, conhecido como Princípio Fundamental da Dinâmica (PFD), é um dos experimentos mais simples, pois precisa de um dinamômetro e um corpo de massa conhecida. Nesse experimento, deve-se considerar que o sistema está totalmente em equilíbrio. A montagem está mostrada na Figura 21, abaixo.

Figura 21 – Bloco preso ao dinamômetro



Fonte: elaborado pelo autor.

[1] <https://www.google.com.br/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=gravidade%20na%20lua>. Acesso em 20/01/2017.

De acordo com a Segunda Lei de Newton, tem-se que:

$$Fr = P - Fe$$

Como o sistema está em equilíbrio, Fr é igual a zero. Assim:

$$0 = P - Fe$$

$$Fe = P = m \cdot g$$

onde Fe é a força elástica exercida pelo dinamômetro. Conclui-se que a aceleração gravitacional local pode ser determinada pela equação:

$$g = \frac{Fe}{m}$$

4.6 Tópico 6 – Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio da Queda Livre

4.6.1 A Física na História

A expressão “queda livre”, que é mencionada neste tópico, refere-se a um movimento vertical e para baixo, de um corpo, livre do efeito do ar ou da resistência de qualquer outra coisa que possa dificultar sua descida, ou seja, o movimento descrito é uniformemente variado e acelerado sob a ação da gravitação terrestre, de acordo com Yamamoto & Fuke (2010).

No tempo de Aristóteles, na Grécia Antiga, acreditava-se que, quanto maior fosse a massa do corpo, mais rápido ele chegaria ao solo, dando a ideia de que a massa teria influência na rapidez da queda, o que, de certa forma, faz sentido para a maioria das pessoas. No entanto, no século XVII, o italiano Galileu Galilei descobriu a lei da aceleração para qualquer corpo em movimento de queda livre. Ele apurou o tempo de queda de corpos de massas distintas e percebeu que eles dependiam da raiz quadrada da distância percorrida e não de suas massas.

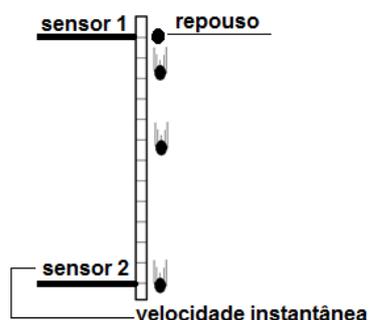
É evidente que se forem soltas uma folha de papel e uma bola de chumbo num ambiente em que exista ar, o papel irá demorar mais tempo para cair no solo. Isso porque a área de contato do papel com o ar é bem maior. Se o papel for amassado, percebe-se claramente que a resistência do ar diminui e a folha tem uma aceleração maior em relação à situação anterior, mostrando que o efeito da resistência do ar influencia consideravelmente o resultado. Essa foi a grande sacada de Galileu, pois, se retirarmos a resistência do ar (vácuo), todos os corpos caem com a mesma aceleração gravitacional, independentemente de suas massas.

Segundo algumas histórias, Galileu havia feito sua descoberta lançando objetos da Torre de Pisa, mas não há evidências históricas de que ele tenha realmente feito esse experimento nesse lugar, porém o impacto da descoberta atingiu todos os setores da sociedade, incluindo artistas, conforme Yamamoto & Fuke (2010).

4.6.2 Determinação da Aceleração Gravital por Meio da Queda Livre pelo Princípio da Conservação da Energia Mecânica

Para se determinar a aceleração gravital local por meio da queda livre, é preciso desprezar a resistência do ar, pois a altura é muito pequena e a esfera possui dimensões pequenas. Será utilizada uma régua com sensores nas extremidades, conforme a Figura 22, a seguir.

Figura 22 – Corpo caindo livremente



Fonte: elaborado pelo autor.

Considerando que a partícula é abandonada ($V_0 = 0$) e chega ao solo com uma velocidade final V , utilizando o Princípio da Conservação da Energia Mecânica, tem-se:

$$E_{mi} = E_{mf}$$

$$mgh = \frac{mV^2}{2}$$

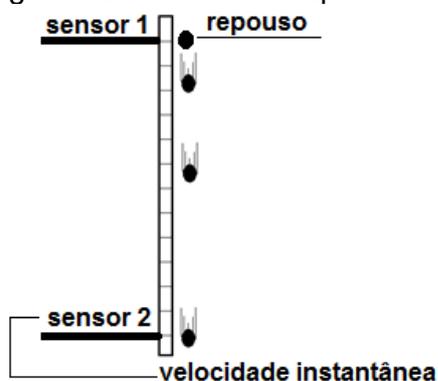
$$g = \frac{V^2}{2h}$$

onde V é a velocidade instantânea marcada pelo sensor e h é a altura do corpo em relação ao último sensor marcador da velocidade instantânea.

4.6.3 Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio da Queda Livre pela Cinemática

Para determinar a aceleração gravitacional local utilizando os conhecimentos da cinemática do movimento uniformemente variado (MUV), será necessário o mesmo experimento do item 4.6.2, conforme a Figura 23, a seguir.

Figura 23 – Esfera em queda livre



Fonte: elaborado pelo autor.

Pode-se determinar a aceleração gravitacional utilizando as três equações do MUV. São elas:

- Função horária da velocidade: $V = V_0 + g \cdot t$
- Função horária do espaço: $h = h_0 + V_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$
- Equação de Torricelli: $V^2 = V_0^2 + g \cdot h$

Considerando que a velocidade inicial é igual a zero, pois está em repouso, a determinação da aceleração gravitacional local fica assim escrita para cada equação:

Para a função horária da velocidade:

$$g = \frac{V}{t}$$

onde **V** é a velocidade final instantânea e **t** é o tempo total.

Para a função horária do espaço:

$$g = \frac{2h}{t^2}$$

onde **h** é a altura e **t** é o tempo total para percorrer toda a altura.

Para a equação de Torricelli:

$$g = \frac{V^2}{2h}$$

onde **V** é a velocidade final instantânea e **h** é a altura do corpo.

5 APLICAÇÃO DO PRODUTO

Este capítulo irá descrever os procedimentos de aplicação do produto educacional. Vale ressaltar que a metodologia descrita não é impositiva, mas tem como objetivo mostrar como foi aplicado esse produto educacional segundo a realidade de uma das escolas públicas do Estado do Ceará. A ideia do trabalho é dar um suporte (complemento) ao professor na sua prática docente, e não uma nova metodologia.

Para que o produto educacional alcance o seu objetivo, é muito importante o professor fazer uma análise da turma para verificar qual momento é mais oportuno para aplicá-lo. Por exemplo: se a turma tem uma deficiência em Matemática, é interessante ele trabalhar a prática experimental antes de desenvolver qualquer equação, fazendo com que os alunos busquem primeiramente conhecer as grandezas físicas e suas implicações no fenômeno, para depois fazer um estudo teórico mais detalhado. Caso contrário, se o professor percebe que a turma tem condições de aprender primeiramente a parte teórica e, posteriormente, de ver a parte prática, não há problema algum. O importante é que os alunos consigam abstrair o máximo de conhecimento possível sem causar nenhuma repulsa pela disciplina.

5.1 Aplicação do Produto Educacional

O produto educacional foi aplicado com os alunos de Ensinos Fundamental e Médio da Escola Pública Estadual do Ceará CERE – Professora Maria José Santos Ferreira Gomes, localizada na Rua Dona Lúcia Pinheiro, 93 – Quintino Cunha, Fortaleza – Ceará, no segundo semestre de 2017, e com alunos de Ensinos Fundamental e Médio da EEFM Dona Hilza Diogo de Oliveira, localizada Av. Dom Aloísio Lorscheider, 1040 – Vila Velha, Fortaleza – Ceará, no primeiro semestre de 2018.

Este produto foi elaborado para ser aplicado em duas aulas de 50 minutos. A primeira aula é destinada à parte de diagnóstico (conhecimentos prévios dos alunos) e à parte experimental. A segunda aula destina-se à parte teórica e exercícios de fixação.

Seguindo o roteiro para aula 01, a primeira coisa a ser feita é uma avaliação prévia dos alunos a respeito do assunto a ser abordado, ou seja, qual o conhecimento

trazido por eles sobre o que será estudado. Nesse momento, o professor fará apenas uma sondagem, para que, no decorrer da prática experimental, ele possa enfatizar os pontos fortes e os pontos fracos dos alunos. É interessante que esse professor não exija algum tipo de formalidade ou nomes técnicos nas respostas dos alunos e que não faça qualquer tipo de juízo de valor nas respostas dadas por eles. Isso dará confiança e liberdade ao aluno na hora de responder ou perguntar.

Após essa avaliação prévia de conhecimentos, o professor fará uma apresentação dos materiais que serão utilizados na prática experimental. É muito importante que, dependendo da prática, sejam utilizados materiais simples e de baixo custo, de modo que o aluno consiga adquirir com facilidade. Nesse momento, o professor pode apresentar os materiais empregando nomes técnicos, se for o caso, e dizendo a que tipo de grandeza física está associado o material. Por exemplo: dinamômetro é o aparelho usado para medir força!

Posteriormente à apresentação dos materiais, o professor mostrará como será feita a montagem da prática experimental. O ideal é que cada aluno tenha o seu material. Caso contrário, poderão ser formadas equipes. O importante é que todos participem e manipulem o experimento de modo a tirar conclusões do fenômeno físico estudado.

Após a prática experimental montada, o professor instruirá aos alunos que manipulem as variáveis do experimento para que eles consigam tirar conclusões a respeito do que foi perguntado inicialmente. Por exemplo: caso a massa de 50 g presa ao dinamômetro seja substituída por uma de 100 g, o valor registrado será maior ou menor? Com isso, espera-se que o aluno perceba que o peso e a massa têm uma relação direta de proporcionalidade.

Por fim, após a prática experimental, o professor irá refazer as perguntas que foram feitas no início da aula. Espera-se que os alunos tenham um aproveitamento maior sobre a compreensão dos assuntos estudados. É muito importante que o aluno, ainda que tenha dificuldades em Matemática, possua um senso crítico do fenômeno e tenha pelo menos uma noção do possível resultado esperado. Por exemplo: se o valor da aceleração gravitacional num determinado planeta for baixo, comparado com o da Terra, certamente o peso desse corpo será menor em relação ao peso na Terra.

Para aula 02, o professor irá abordar a parte teórica, iniciando com a parte histórica do assunto, a determinação da aceleração gravitacional por meio das equações e os exercícios.

5.2 Força Peso

5.2.1 Força Peso – Prática Experimental: Conhecimentos Prévios

A prática experimental da força peso foi aplicada a alunos do 3º Ano do Ensino Médio. Faz todo sentido, pois esse assunto está na grade curricular deles. Esse é o momento em que o professor deve ter bastante cuidado na apresentação da disciplina, pois muitos alunos chegam com uma má impressão e outros até com medo, achando que é muito difícil e que irão ficar reprovados.

Seguindo o cronograma descrito anteriormente, foram aplicadas cinco perguntas prévias, conforme é mostrado na Tabela 1, abaixo.

Tabela 1 – Conhecimentos prévios: força peso

Questão 1	A massa de um corpo na Terra é diferente em outro planeta?	Sim	Não
Questão 2	O peso de um corpo é sempre o mesmo em qualquer planeta?	Sim	Não
Questão 3	A aceleração gravitacional (g) aumenta com a massa do corpo?	Sim	Não
Questão 4	Quanto maior o peso de um corpo, maior a aceleração da gravidade?	Sim	Não
Questão 5	A massa de um corpo é sempre a mesma em qualquer circunstância?	Sim	Não

Essas perguntas são feitas de forma que o professor possa diagnosticar a turma e os conhecimentos prévios dos alunos a respeito das grandezas envolvidas no assunto estudado, que, no caso, são: peso, massa e aceleração gravitacional. Vale ressaltar que a prática tem como objetivo específico encontrar a aceleração gravitacional, no entanto o objetivo geral é ensinar os conceitos de Física.

5.2.2 Força Peso – Prática Experimental: Material Utilizado

Após os conhecimentos prévios, o professor irá apresentar o material utilizado na prática experimental, mostrando a finalidade e a que grandeza física está relacionado esse material, conforme a Tabela 2, abaixo.

Tabela 2 – Material utilizado na prática experimental

	Dinamômetro: equipamento usado para medir a força.
	Massas: quantidade de matéria de um corpo.
	Suporte: equipamento usado para sustentar e manter em equilíbrio um sistema.

5.2.3 Força Peso – Prática Experimental: Montagem do Experimento

Na montagem do experimento, é interessante que o professor faça um modelo para que os alunos possam observar, conforme a Figura 24, abaixo.

Figura 24 – Montagem da força peso



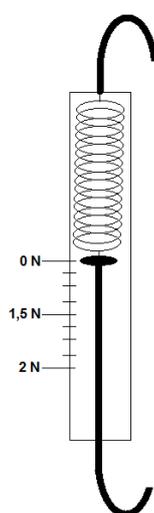
Fonte: elaborado pelo autor.

5.2.4 Força Peso – Prática Experimental: Procedimentos

É muito importante que o professor adote um procedimento. Caso contrário, o aluno pode se confundir ou ter dificuldades em tirar conclusões corretas. Portanto, para esta prática, foram adotados os seguintes procedimentos:

1. **Calibrar o Dinamômetro:** verificar se a posição inicial do marcador de deformação da mola está na posição zero. Isso é possível girando o parafuso que fica na parte superior do dinamômetro (ver Figura 25).

Figura 25 – Aferição da massa



Fonte: elaborado pelo autor.

2. **Montar o experimento:** para a montagem inicial, utilizar uma massa de 100 g.
3. **Verificar as escalas do dinamômetro:** para este estudo, será utilizada a escala de Newton. É importante observar a quantidade de intervalos entre um valor e outro subsequente para fazer a medição mais precisa possível.
4. No caso da Figura 26, entre o 1,5 N e o 2 N tem-se o registro da força elástica. Dessa forma, o valor aferido deve ser feito da seguinte maneira:

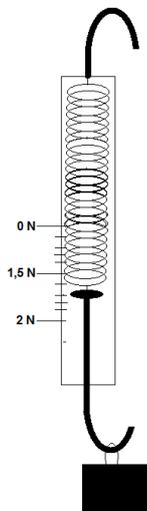
$F_e = \text{último registro marcado da escala} + c \times \Delta F_e$, onde c é o número de subdivisões.

$\Delta F_e = \frac{\Delta X_e}{n}$, onde ΔX_e é o intervalo da escala do dinamômetro e n é o número de divisões do intervalo de ΔF_e . Assim, tem-se que:

$$\Delta F_e = \frac{0,5}{5} = 0,1$$

$$F_e = 1,5 \text{ N} + (2 \times 0,1) = 1,5 \text{ N} + 0,2 \text{ N} = 1,7 \text{ N}$$

Figura 26 – Ilustração de um dinamômetro distendido



Fonte: elaborado pelo autor.

5. Para encontrar o valor da aceleração gravitacional local, deve-se utilizar a equação abaixo:

$$g = \frac{F_e}{m}$$

6. Após o cálculo da aceleração gravitacional, deve-se fazer novamente, porém com uma massa de 200 g, e comparar os valores.

5.2.5 Força Peso – Exercícios de Fixação

1. Existe diferença entre peso e massa? Explique.
2. A medida da massa de um corpo na Terra pode ser diferente se ele for levado para outro planeta? Explique.
3. Por que o peso medido na Terra é diferente do peso medido na Lua?
4. Utilizando o dinamômetro e um corpo de massa 300 gramas, qual o valor da aceleração gravitacional local, em m/s^2 ?
5. Considerando a questão anterior, caso a massa fosse mudada para 1000 gramas, o valor da aceleração gravitacional mudaria? Explique.

5.3 Pêndulo Simples

5.3.1 Pêndulo Simples – Prática Experimental: Conhecimentos Prévios

O assunto de Oscilações, em especial o pêndulo simples, só é estudado pelos alunos da escola pública no último semestre do 2º Ano do Ensino Médio. No entanto, a prática foi aplicada com alunos do 1º Ano, porque a ideia era testar se esses alunos, mesmo não tendo estudado o conteúdo, seriam capazes de compreender os conceitos físicos e relacionar as grandezas envolvidas no assunto estudado. Na aplicação do produto educacional, será sempre seguida a mesma sequência das outras práticas, ou seja, em primeiro lugar serão aplicadas as cinco perguntas prévias, conforme é mostrado na Tabela 3, abaixo.

Tabela 3 – Conhecimentos prévios: pêndulo simples

Questão 1	Você acha que a massa interfere no período do pêndulo?	Sim	Não
Questão 2	O tamanho do fio interfere no período do pêndulo?	Sim	Não
Questão 3	Quanto maior a massa, maior será a aceleração gravitacional?	Sim	Não
Questão 4	O tempo de oscilação varia (muda) de acordo com a massa do corpo?	Sim	Não
Questão 5	A frequência do pêndulo aumenta com a diminuição da massa?	Sim	Não

Essas perguntas são feitas de forma que o professor possa diagnosticar a turma e os conhecimentos prévios dos alunos a respeito das grandezas envolvidas no assunto estudado, que, no caso, são: período, frequência, massa pendular, comprimento do fio e aceleração gravitacional. Vale ressaltar que a prática tem como objetivo específico encontrar a aceleração gravitacional, no entanto o objetivo geral é ensinar os conceitos de Física.

5.3.2 Pêndulo Simples – Prática Experimental: Material Utilizado

Após os conhecimentos prévios, o professor irá apresentar o material utilizado na prática experimental, mostrando a finalidade e a que grandeza física está relacionado esse material, conforme a Tabela 4, abaixo.

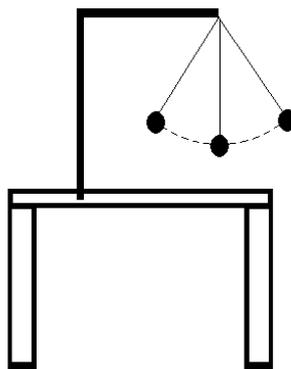
Tabela 4 – Material utilizado na prática experimental

	<p>Fio: usado para segurar a massa pendular.</p>
	<p>Massas pendulares: quantidade de matéria de um corpo.</p>
	<p>Suporte: equipamento usado para sustentar e manter em equilíbrio um sistema.</p>
	<p>Trena: aparelho usado para medir o comprimento.</p>
	<p>Cronômetro: aparelho para medir o tempo.</p>

5.3.3 Pêndulo Simples – Prática Experimental: Montagem do Experimento

Na montagem do experimento, é interessante que o professor faça um modelo para que os alunos possam observar, conforme a Figura 27, a seguir.

Figura 27 – Montagem do pêndulo simples



Fonte: elaborado pelo autor.

5.3.4 Pêndulo Simples – Prática Experimental: Procedimentos

É muito importante que o professor adote um procedimento. Caso contrário, o aluno pode se confundir ou ter dificuldades em tirar conclusões corretas. Portanto, para esta prática, foram adotados os seguintes procedimentos:

1. Amarrar um fio de 30 cm de comprimento numa massa de 50 g e depois amarrá-lo no suporte.
2. Fazer o pêndulo oscilar. Utilizar um ângulo pequeno.
3. Marcar uma posição qualquer e marcar o tempo para 10 oscilações. Fazer isso 3 vezes.
4. Mudar a massa do corpo para 100 g e repetir o procedimento anterior.
5. Responder: O fato de se ter dobrado o valor da massa, o tempo de oscilação também dobrou?
6. Amarrar um fio de 60 cm de comprimento numa massa de 50 g e depois amarrá-lo no suporte.
7. Fazer o pêndulo oscilar. Utilizar um ângulo pequeno.
8. Marcar uma posição qualquer e marcar o tempo para 10 oscilações. Fazer isso 3 vezes.
9. Mudar a massa do corpo para 100 g e repetir o procedimento anterior.
10. Responder: O fato de se ter dobrado o valor do comprimento, o tempo de oscilação também dobrou?
11. Empregando a equação abaixo, calcular o valor da aceleração gravitacional utilizando as informações dos dois casos anteriores.

$$g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot L \cdot n^2}{t^2}$$

onde **L** é o comprimento do fio; **N** é o número de oscilações; **t** é o tempo das 10 oscilações.

5.3.5. Pêndulo Simples – Exercícios de Fixação

1. Dos resultados experimentais, é possível se concluir que os períodos independem das massas? Justifique.
2. Dos resultados experimentais, é possível se concluir que os períodos independem dos comprimentos? Justifique.
3. Qual o percentual de erro encontrado na aceleração gravitacional local e o sugerido pela literatura ($g = 9,8703 \text{ m/s}^2$)?
4. Dos resultados experimentais, o que se pode concluir sobre os períodos quando a amplitude passa de 10° para 20° ? Justifique.
5. Qual o peso de uma pessoa de massa 65,00 kg no local onde foi realizada a experiência?
6. Compare o valor médio de \underline{T} obtido experimentalmente para $L = 60 \text{ cm}$ com o seu valor calculado pela equação $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$.

5.4 Roldanas

5.4.1. Roldanas – Prática Experimental: Conhecimentos Prévios

O assunto de Roldanas, também conhecido como polias, faz parte da grade curricular dos alunos do 2º Ano do Ensino Médio da escola pública. Nesse assunto, são abordados os conceitos de força e energia. Na aplicação do produto educacional, será sempre seguida a mesma sequência das outras práticas, ou seja, em primeiro lugar serão aplicadas as cinco perguntas prévias, conforme é mostrado na Tabela 5, a seguir.

Tabela 5 – Conhecimentos prévios: roldanas

Questão 1	Você sabe qual(is) a(s) finalidade(s) de se usar as roldanas?	Sim	Não
Questão 2	Você acha que existe diferença entre roldana fixa e roldana móvel?	Sim	Não
Questão 3	O peso do objeto varia de acordo com a quantidade de roldanas?	Sim	Não
Questão 4	A força aplicada é sempre igual ao peso do objeto suspenso?	Sim	Não
Questão 5	A força aplicada independe do número de polias livres?	Sim	Não

Essas perguntas são feitas de forma que o professor possa diagnosticar a turma e os conhecimentos prévios dos alunos a respeito das grandezas envolvidas no assunto estudado, que, no caso, são: peso, massa, força aplicada e aceleração gravitacional. Vale ressaltar que a prática tem como objetivo específico encontrar a aceleração gravitacional, no entanto o objetivo geral é ensinar os conceitos de Física.

5.4.2 Roldanas – Prática Experimental: Material Utilizado

Após os conhecimentos prévios, o professor irá apresentar o material utilizado na prática experimental, mostrando a finalidade e a que grandeza física está relacionado esse material, conforme a Tabela 6, abaixo.

Tabela 6 – Material utilizado na prática experimental

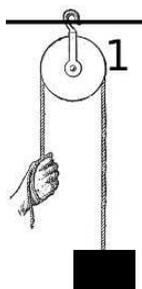
	Fio: usado para segurar a massa.
	Massas: quantidade de matéria de um corpo.

	Suporte: equipamento usado para sustentar e manter em equilíbrio um sistema.
	Dinamômetro: equipamento usado para medir a força aplicada.
	Roldana: usada para mudar a direção e diminuir a força aplicada, dependendo do tipo de construção.

5.4.3 Roldanas – Prática Experimental: Montagem do Experimento

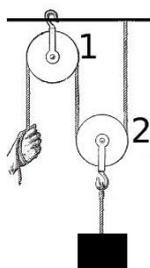
Na montagem do experimento, é interessante que o professor faça um modelo para que os alunos possam observar, conforme as figuras 28 e 29, abaixo.

Figura 28 – Montagem com uma roldana fixa



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 29 – Montagem com uma roldana fixa e uma livre



Fonte: elaborado pelo autor.

5.4.4 Roldana – Prática experimental: Procedimentos

É muito importante que o professor adote um procedimento. Caso contrário, o aluno pode se confundir ou ter dificuldades em tirar conclusões corretas. Portanto, para esta prática, foram adotados os seguintes procedimentos:

1. Montar o experimento conforme a Figura 28 e usar um corpo de massa de 100 gramas.
2. Na força aplicada, pôr um dinamômetro.
3. Pedir aos alunos que façam o registro da força aplicada no dinamômetro.
4. Pedir aos alunos que mudem o ângulo de aplicação da força aplicada. Perguntar se houve alteração da força registrada no dinamômetro.
5. Fazer a montagem do experimento da Figura 29 e repetir os mesmos procedimentos anteriores.
6. Pedir aos alunos que construam um sistema de duas roldanas livres e registrem a força aplicada.
7. Pedir aos alunos que construam a relação existente entre as polias livres e a força aplicada.
8. Utilizando a equação abaixo, calcular o valor da aceleração gravitacional.

$$g = \frac{2^n \cdot F_{ap}}{M}$$

onde F_{ap} é a força aplicada, n é o número de polias móveis e M é a massa do objeto suspenso.

5.4.5 Roldana – Exercícios de Fixação

1. Um sistema de polias fixas presas ao teto oferece redução na força aplicada? Explique.
2. Um sistema de polias com três roldanas móveis reduz a força aplicada em quantas vezes?

3. Num sistema de roldanas móveis, a força é reduzida de acordo com a quantidade de roldanas móveis. Explique onde fica exercido o restante da força que não é aplicada pelo agente.
4. Num sistema onde há quatro polias móveis, qual a força aplicada para manter um peso de massa de 96 kg? Considere a massa das cordas e a das polias desprezíveis e a aceleração gravitacional local igual a 10 m/s^2 .
5. Utilizando um dinamômetro e um corpo de massa 200 g, calcule o valor da aceleração gravitacional local num sistema de duas polias móveis.

5.5 Hidrostática

5.5.1 Hidrostática – Prática Experimental: Conhecimentos Prévios

O assunto de hidrostática aqui trabalhado tem como foco principal esclarecer ao aluno sobre as grandezas físicas envolvidas e a relação entre elas. Na aplicação do produto educacional, será sempre seguida a mesma sequência das outras práticas, ou seja, em primeiro lugar serão aplicadas as cinco perguntas prévias, conforme é mostrado na Tabela 7, abaixo.

Tabela 7 – Conhecimentos prévios: hidrostática

Questão 1	A massa de um corpo varia dependendo do líquido em que está inserido?	Sim	Não
Questão 2	O volume de líquido deslocado, após a inserção do corpo, é exatamente igual ao volume submerso do corpo?	Sim	Não
Questão 3	O líquido exerce uma força sobre o corpo que aponta para cima?	Sim	Não
Questão 4	Você acha que o tipo de líquido interfere no peso aparente do corpo?	Sim	Não
Questão 5	A aceleração gravitacional depende do tipo de líquido em que o corpo está inserido?	Sim	Não

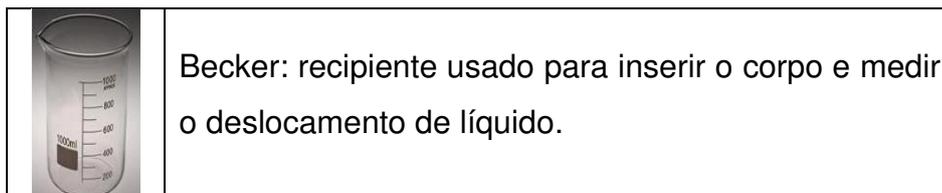
Essas perguntas são feitas de forma que o professor possa diagnosticar a turma e os conhecimentos prévios dos alunos a respeito das grandezas envolvidas no assunto estudado, que, no caso, são: peso, massa, empuxo, volume e aceleração gravitacional. Vale ressaltar que a prática tem como objetivo específico encontrar a aceleração gravitacional, no entanto o objetivo geral é ensinar os conceitos de Física envolvidos no assunto.

5.5.2 Hidrostática – Prática Experimental: Material Utilizado

Após os conhecimentos prévios, o professor irá apresentar o material utilizado na prática experimental, mostrando a finalidade e a que grandeza física está relacionado esse material, conforme a Tabela 8, abaixo.

Tabela 8 – Material utilizado na prática experimental

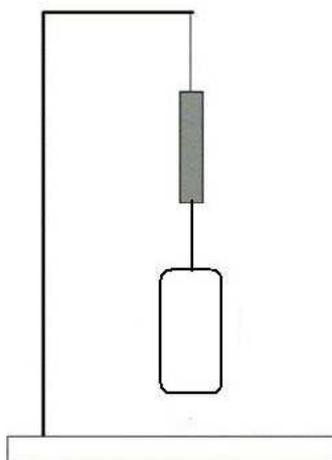
	Sal: usado para mudar a densidade da água.
	Massas: quantidade de matéria de um corpo.
	Suporte: equipamento usado para sustentar e manter em equilíbrio um sistema.
	Dinamômetro: equipamento usado para medir a força aplicada.
	Seringa: usada para acrescentar ou retirar o líquido.



5.5.3 Hidrostática – Prática Experimental: Montagem do Experimento

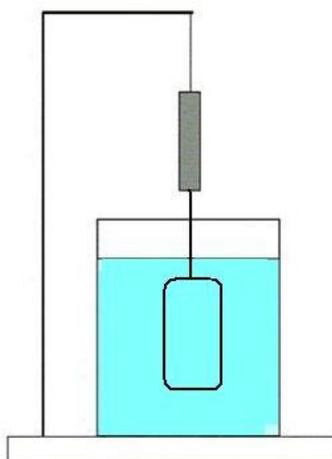
Na montagem do experimento, é interessante que o professor faça um modelo para que os alunos possam observar, conforme as Figuras 30 e 31, abaixo.

Figura 30 – Montagem com o corpo fora do líquido



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 31 – Montagem com o corpo dentro do líquido



Fonte: elaborado pelo autor.

5.5.4 Hidrostática – Prática Experimental: Procedimentos

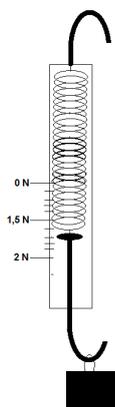
É muito importante que o professor adote um procedimento. Caso contrário, o aluno pode se confundir ou ter dificuldades em tirar conclusões corretas. Portanto, para esta prática, foram adotados os seguintes procedimentos:

1. **Verificar as escalas do dinamômetro:** para este estudo, será utilizada a escala de Newton. É importante observar a quantidade de intervalos entre um valor e outro subsequente para fazer a medição mais precisa possível.

No caso da Figura 32, entre o 1,5 N e o 2 N tem-se o registro da força elástica. Dessa forma, o valor aferido deve ser feito da seguinte maneira:

$F_e = \text{último registro marcado da escala} + c \times \Delta F_e$, onde **$c$** é o número de subdivisões.

Figura 32 – Dinamômetro



Fonte: elaborado pelo autor.

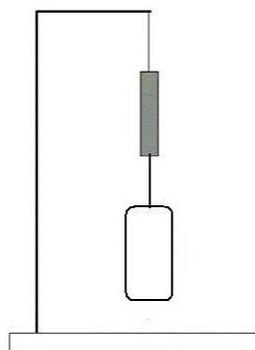
$\Delta F_e = \frac{\Delta X_e}{n}$, onde ΔX_e é o intervalo da escala do dinamômetro e n é o número de divisões do intervalo de ΔF_e . Assim, tem-se que:

$$\Delta F_e = \frac{0,5}{5} = 0,1$$

$$F_e = 1,5 \text{ N} + (2 \times 0,1) = 1,5 \text{ N} + 0,2 \text{ N} = 1,7 \text{ N}$$

2. Montar o experimento conforme a Figura 33, abaixo. Verificar o peso registrado pelo dinamômetro.

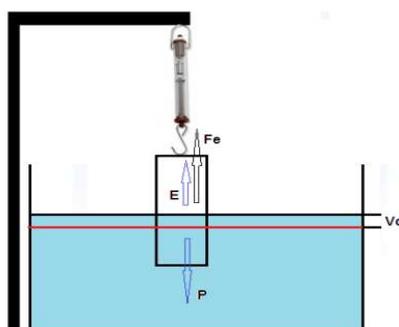
Figura 33 – Corpo suspenso



Fonte: elaborado pelo autor.

3. Inserir água no becker com água e verificar o nível dessa água.
 4. Após registrar o nível de água no becker, inserir o corpo no líquido e verificar o nível de deslocamento desse líquido, após a imersão do corpo, e a força registrada pelo dinamômetro com o corpo imerso na água, como mostra a Figura 34, abaixo.

Figura 34 – Corpo preso ao dinamômetro parcialmente submerso



Fonte: elaborado pelo autor.

5. Para encontrar o valor da aceleração gravitacional local, utilizar a equação abaixo:

$$g = \frac{P - Fe}{\mu \cdot Vd}$$

6. Inserir sal na água e repetir o procedimento.

Observação: a água salgada tem densidade de 1,03 grama por centímetro cúbico.

5.5.5 Hidrostática – Exercícios de Fixação

1. O que é um dinamômetro e como ele funciona?
2. O que é o volume deslocado?
3. O que é o peso aparente?
4. Por que o empuxo é uma força de reação?
5. Considere que um corpo de massa 200 gramas foi inserido num recipiente com água ($\mu = 1 \text{ g/cm}^3$) e que o dinamômetro marcou 0,9 N de força. Qual o valor do volume deslocado? Use $g = 10 \text{ m/s}^2$.

5.6 Queda Livre

5.6.1 Queda Livre – Prática Experimental: Conhecimentos Prévios

No assunto de queda livre, o foco principal é esclarecer ao aluno as grandezas físicas envolvidas e a relação entre elas. Na aplicação do produto educacional, será sempre seguida a mesma sequência das outras práticas, ou seja, em primeiro lugar serão aplicadas as cinco perguntas prévias, conforme é mostrado na Tabela 9, abaixo.

Tabela 9 – Conhecimentos prévios: queda livre

Questão 1	Imagine um local onde a resistência do ar é dispensável. Você acha que a massa de um corpo interfere na aceleração gravitacional?	Sim	Não
Questão 2	A velocidade de um corpo em queda livre é maior quanto maior for a sua massa?	Sim	Não
Questão 3	Quanto menor a massa, menor o tempo de queda desse corpo?	Sim	Não
Questão 4	Você acha que a aceleração gravitacional depende sempre da altura em que o corpo se encontra?	Sim	Não
Questão 5	A velocidade de queda de um corpo é sempre constante?	Sim	Não

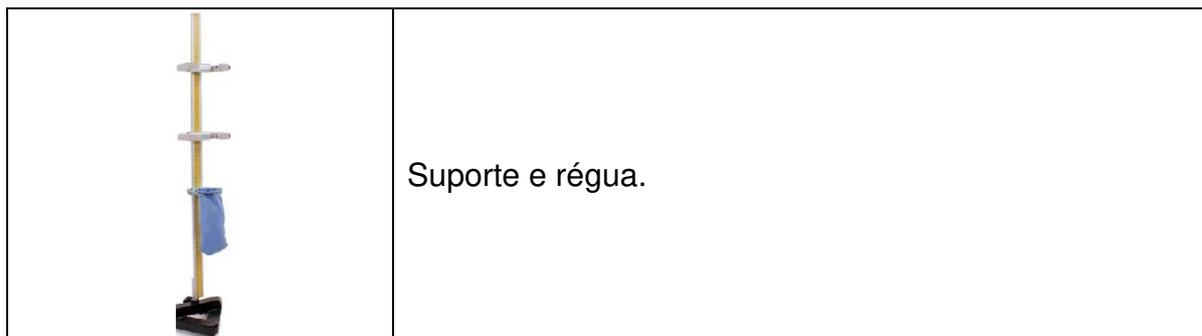
Essas perguntas são feitas de forma que o professor possa diagnosticar a turma e os conhecimentos prévios dos alunos a respeito das grandezas envolvidas no assunto estudado, que, no caso, são: tempo de queda, massa, altura e aceleração gravitacional. Vale ressaltar que a prática tem como objetivo específico encontrar a aceleração gravitacional, no entanto o objetivo geral é ensinar os conceitos de Física envolvidos no assunto.

5.6.2 Queda Livre – Prática Experimental: Material Utilizado

Após os conhecimentos prévios, o professor irá apresentar o material utilizado na prática experimental, mostrando a finalidade e a que grandeza física está relacionado esse material, conforme a Tabela 10, abaixo.

Tabela 10 – Material utilizado na prática experimental

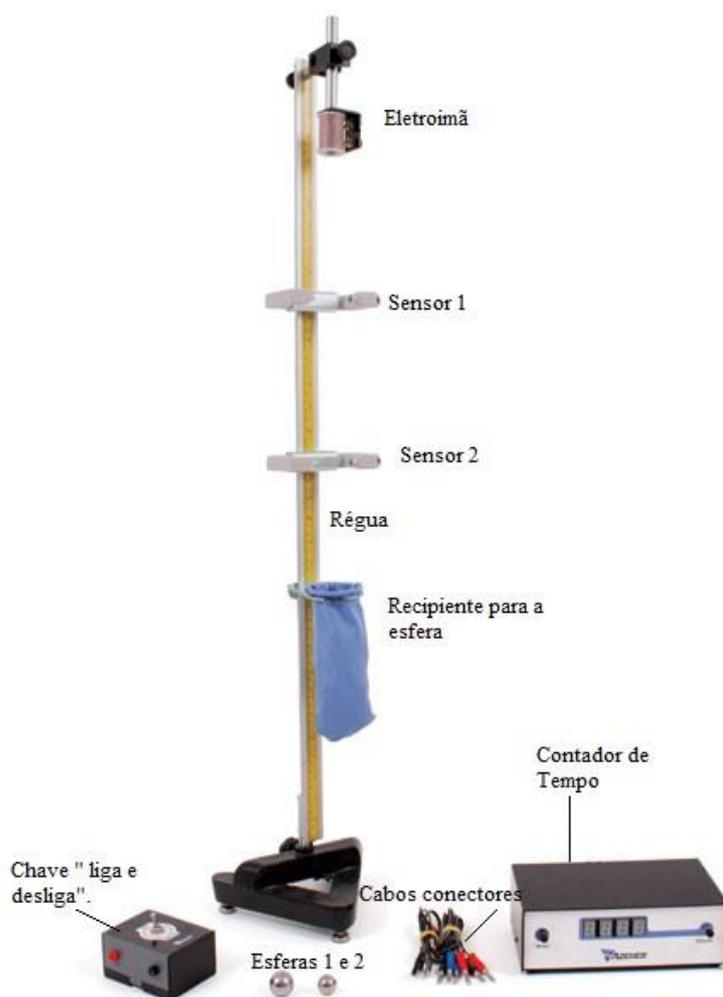
	Chave liga e desliga.
	Cronômetro digital.
	Cabos conectores.
	Sensor.
	Esferas.



5.6.3 Queda Livre – Prática Experimental: Montagem do Experimento

Na montagem do experimento, é interessante que o professor faça um modelo para que os alunos possam observar, conforme a Figura 35, abaixo.

Figura 35 – Montagem do experimento de queda livre



Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgjuwAA/02-experimento-queda-livre>.

5.6.4 Queda Livre – Prática Experimental: Procedimentos

É muito importante que o professor adote um procedimento. Caso contrário, o aluno pode se confundir ou ter dificuldades em tirar conclusões corretas. Portanto, para esta prática, foram adotados os seguintes procedimentos:

1. Colocar o sensor a uma certa distância do eletroímã.
2. Selecionar o botão de velocidade instantânea.
3. Usar a esfera 1.
4. Fazer o registro da velocidade instantânea da esfera 1 e repetir o mesmo procedimento para a esfera 2 (esfera 2 diferente em massa da esfera 1).
5. Usar a equação abaixo para calcular a aceleração gravitacional das duas esferas.

$$g = \frac{V}{2h}, \text{ onde } h \text{ é a distância entre o eletroímã e o sensor.}$$

5.6.5 Queda Livre – Exercícios de Fixação

1. Um corpo é abandonado de uma altura de 80 metros. Quanto tempo levará para que esse corpo atinja o solo? Considere a aceleração gravitacional igual a 10 m/s^2 .
2. Qual a velocidade final de um corpo de massa de 2 kg quando abandonado de uma altura de 20 metros? (Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.)
3. Um corpo leva 3 segundos para atingir o solo. De que altura ele foi abandonado? (Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.)
4. Um corpo de massa de 8 kg é abandonado num planeta **X** e leva 4 segundos para atingir o solo com velocidade de 16 m/s. Qual o valor da aceleração gravitacional desse planeta **X**?

5.7 Ondulatória

5.7.1 Ondulatória – Prática Experimental: Conhecimentos Prévios

No assunto de ondulatória, o foco principal é esclarecer ao aluno as grandezas físicas envolvidas e a relação entre elas. Na aplicação do produto educacional, será sempre seguida a mesma sequência das outras práticas, ou seja, em primeiro lugar serão aplicadas as cinco perguntas prévias, conforme é mostrado na Tabela 11, abaixo.

Tabela 11 – Conhecimentos prévios: ondulatória

Questão 1	Você acha que uma onda transporta matéria?	Sim	Não
Questão 2	O número de nós aumenta com o aumento da massa do objeto suspenso?	Sim	Não
Questão 3	O número de nós aumenta com o comprimento do fio?	Sim	Não
Questão 4	Você acha que a aceleração gravitacional depende da massa?	Sim	Não
Questão 5	Você acha que a aceleração gravitacional depende do comprimento do fio?	Sim	Não

Essas perguntas são feitas de forma que o professor possa diagnosticar a turma e os conhecimentos prévios dos alunos a respeito das grandezas envolvidas no assunto estudado, que, no caso, são: peso, massa, empuxo, volume e aceleração gravitacional. Vale ressaltar que a prática tem como objetivo específico encontrar a aceleração gravitacional, no entanto o objetivo geral é ensinar os conceitos de Física envolvidos no assunto.

5.7.2 Ondulatória – Prática Experimental: Material Utilizado

Após os conhecimentos prévios, o professor irá apresentar o material utilizado na prática experimental, mostrando a finalidade e a que grandeza física está relacionado esse material, conforme a Tabela 12, abaixo.

Tabela 12 – Material utilizado na prática experimental

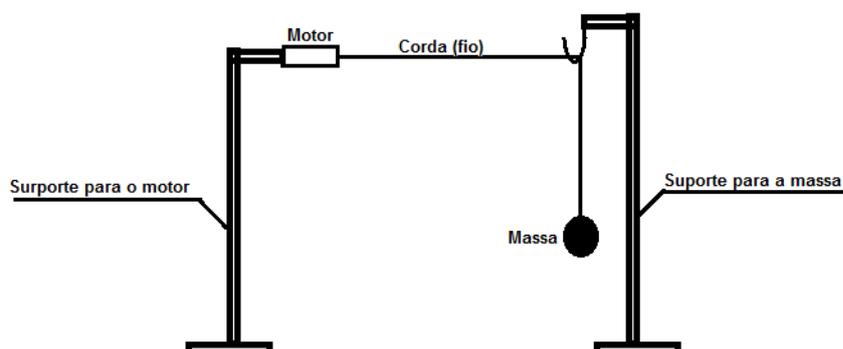
	Motor elétrico.
---	-----------------

	<p>Trena para medir o comprimento da corda (fio).</p>
	<p>Dois suportes para sustentar o motor elétrico e a massa.</p>
	<p>Balança de precisão para medir a massa e a corda (fio) para calcular a densidade dessa corda.</p>

5.7.3 Ondulatória – Prática Experimental: Montagem do Experimento

Na montagem do experimento, é interessante que o professor faça um modelo para que os alunos possam observar, conforme a Figura 36, abaixo.

Figura 36 – Montagem do experimento



Fonte: elaborado pelo autor.

5.7.4 Ondulatória – Prática Experimental: Procedimentos

É muito importante que o professor adote um procedimento. Caso contrário, o aluno pode se confundir ou ter dificuldades em tirar conclusões corretas. Portanto, para esta prática, foram adotados os seguintes procedimentos:

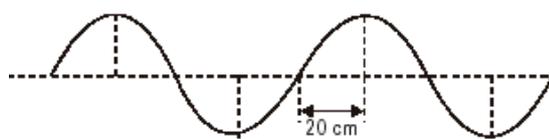
1. Fazer a medida do comprimento da corda (metros) e depois a medida da massa (quilogramas) da corda e do corpo suspenso, utilizando a balança de precisão.
2. Calcular a densidade linear da corda (razão entre a massa e o comprimento da corda).
3. Montar o experimento.
4. Ligar o motor e observar o padrão de ondas formado. Caso não seja bem definido, regular a distância de modo que seja possível formar padrões bem definidos.
5. Medir a distância da corda (L) entre o motor e o último nó.
6. Observar o número de nós.
7. Utilizar a equação abaixo para determinar a aceleração gravitacional.

Observação: A frequência do motor pode ser verificada no manual do fabricante.

$$g = \frac{4\mu}{M} \cdot \left(\frac{L \cdot f}{n} \right)^2$$

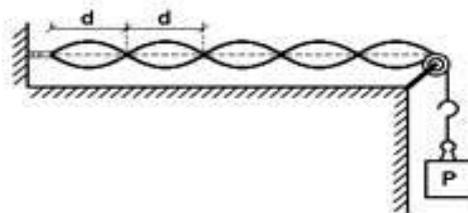
5.7.5 Ondulatória – Exercícios de Fixação

1. Defina densidade linear.
2. Calcule a densidade de uma corda homogênea de 150 cm e massa de 20 g.
3. Qual a velocidade de uma onda cujo comprimento de onda é 30 cm e a frequência vale 440 Hz?
4. Na figura, está representada a configuração de uma onda mecânica que se propaga com velocidade de 20 m/s. A frequência da onda, em hertz, vale:



5. Uma corda tracionada por uma força de 90 N, massa de 100 g e comprimento de 1 metro possui uma velocidade de _____ m/s.

6. A figura representa uma configuração de ondas estacionárias produzidas num laboratório didático com uma fonte oscilante de frequência de 250 Hz.



- Sendo $d = 12$ cm a distância entre dois nós sucessivos, qual o comprimento da onda que se propaga no fio?
- A carga P , que traciona o fio ($m = 3 \times 10^{-4}$ kg), tem massa $M = 180$ g. Calcule a densidade linear do fio em kg/m.
- Determine a aceleração gravitacional local.

6 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO PRODUTO

Tabela 13 – Resultados obtidos no laboratório da UFC – Pêndulo Simples

L (m)	Θ (°)	m (kg)	n (oscilações)	t (seg)	g (m/s ²)
0,89	10	0,014	10	18,88	9,84703
0,89	10	0,014	10	18,98	9,74354
0,89	10	0,014	10	18,92	9,80543
0,89	10	0,014	10	18,94	9,78474
0,89	10	0,014	10	18,81	9,92046

Aceleração gravitacional média: 9,8202 m/s². A aceleração da gravidade, no Equador e ao nível do mar, é $g = 9,7803$ m/s², aproximadamente. Erro: 0,4 %.

Tabela 14 – Resultados obtidos no laboratório da UFC – Hidrostática

P (N)	Fe (N)	μ (kg/L)	Vd (L)	g (m/s ²)
1,16	1,02	1	0,014	9,2857
0,52	0,34	1	0,018	10,0000
1,76	1,60	1	0,016	10,0000
1,16	1,02	1	0,014	10,0000
1,12	0,72	1	0,040	10,0000

A média dos resultados da aceleração gravitacional é 9,8571 m/s². A aceleração da gravidade, no Equador e ao nível do mar, é $g = 9,7803$ m/s², aproximadamente. Erro: 0,8%.

Tabela 15 – Resultados obtidos no laboratório da UFC – Ondulatória

Medida	μ	M	L	n	f	g
Medida 1	0,0004	0,245	0,775	1	50	9,8061
Medida 2	0,0004	0,255	0,775	1	50	9,42156
Medida 3	0,0004	0,060	0,775	2	50	10,0104
Medida 4	0,0004	0,065	0,775	2	50	9,24058
Medida 5	0,0004	0,025	0,755	3	50	10,6777
Medida 6	0,0004	0,030	0,755	3	50	8,89814

A média dos resultados da aceleração gravitacional é $9,6757 \text{ m/s}^2$. A aceleração da gravidade, no Equador e ao nível do mar, é $g = 9,7803 \text{ m/s}^2$, aproximadamente.

Erro: 1,0%.

Tabela 16 – Resultados obtidos no laboratório da UFC – Roldanas

Medida	Força aplicada F_{ap} (N)	Massa (M) em kg	Número de roldanas livres	Aceleração gravitacional local em m/s^2
Medida 1	1,95	0,4200	1	9,2857
Medida 2	1,45	0,5200	1	9,4231
Medida 3	3,40	0,6800	1	10,0000
Medida 4	1,00	0,4400	2	9,0909
Medida 5	1,25	0,5400	2	9,2592
Medida 6	1,50	0,6400	2	9,3750

Fazendo uma média dos resultados obtidos dos três valores da aceleração gravitacional local, temos que a gravidade local é $9,5696 \text{ m/s}^2$ e, sabendo que a aceleração da gravidade, no Equador e ao nível do mar, vale $9,7803 \text{ m/s}^2$, aproximadamente, obtivemos um erro de 2,1%.

Tabela 17 – Resultados obtidos no laboratório da UFC – Foça Peso

Medida	Fe (N)	M (kg)	g (m/s²)
1	1,95	0,2071	9,4157
2	3,05	0,3071	9,9316
3	4,10	0,4142	9,8986

Aceleração gravitacional média: 9,7486 m/s². A aceleração da gravidade, no Equador e ao nível do mar, é $g = 9,7803 \text{ m/s}^2$, aproximadamente. Erro: 0,3 %.

Tabela 18 – Resultados obtidos no laboratório da UFC – Queda Livre

Altura (m)	Tempo (s)	g (m/s²)
0,88	0,424	9,7899
0,88	0,431	9,4745
0,88	0,429	9,5631
0,68	0,376	9,6197
0,68	0,386	9,1277
0,465	0,311	9,6153
0,465	0,310	9,6774
0,465	0,306	9,7402
Média		9,6400

Aceleração gravitacional média: 9,6400 m/s². A aceleração da gravidade, no Equador e ao nível do mar, é $g = 9,7803 \text{ m/s}^2$, aproximadamente. Erro: 1,4%.

7 CONCLUSÃO

“O Ensino de Física na Educação Básica Usando como Motivação a Determinação da Aceleração Gravitacional” é um trabalho que foi desenvolvido para atender uma carência presente na maioria das escolas públicas e também em escolas particulares, que é a dificuldade dos alunos de compreenderem os fenômenos físicos, ou seja, tirá-los da abstração. Isso não tem sido fácil para os alunos e muito menos para os professores, pois a falta de estrutura e capacitação é uma realidade presente nos dias de hoje.

Acredita-se que esta obra pode ajudar muito o professor, sendo uma ferramenta a mais na sua prática docente, e, principalmente, o aluno, pois a prática experimental é uma das melhores formas de se aprender e desperta um maior interesse pela pesquisa e pelo trabalho em grupo e o surgimento de ideias.

Com a aplicação do Produto Educacional, foi possível verificar uma melhora substancial do aprendizado. Não só isso, mas uma maior interação dos alunos com o professor e com a disciplina. Conceitos que outrora eram difíceis de compreender ficaram mais fáceis, uma vez que surgiram mais perguntas e situações inovadoras, pois a manipulação de variáveis dava “asas” à imaginação.

A realidade dos professores da rede pública estadual de ensino é bem complicada, pois sua carga horária é bastante puxada. Um professor com 40 horas semanais tem 14 turmas, com duas aulas por semana em cada uma delas. São 14 turmas para serem preenchidas com alunos de 1º, 2º e 3º Anos do Ensino Médio. Isso dá uma média de 4 a 5 turmas do mesmo ano. Dessa forma, o Produto Educacional quebra a rotina do professor, pois a aula experimental dificilmente é igual, sempre surgem novidades, o que desgastando-o menos.

Por fim, a experiência com o Produto Educacional foi extremamente proveitosa para a realidade dos alunos. Houve uma participação efetiva desses alunos e bons resultados. Espera-se que este trabalho ajude os docentes que desejarem aplicar este Produto Educacional.

8 REFERÊNCIAS

ALVES, V. C. & STACHAK, M. A Importância de Aulas Experimentais no Processo de Ensino-Aprendizagem em Física: Eletricidade. In: *XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0219-3.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

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

BIASOTO, J. D. & CARVALHO, A. M. P. Análise de uma atividade experimental que desenvolva a argumentação dos alunos. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6, Florianópolis, 2007. *Anais VI ENPEC* Florianópolis, 2007.

BLOSSER, P. E. O papel do laboratório no ensino de ciências (Traduzido por MOREIRA, M. A.). *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 5(2): 74-78, 1988.

BONADIMAN, H. *et al.* Difusão e popularização da ciência: uma experiência em Física que deu certo. In: *XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: < <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0131-1.pdf> >. Acesso em: 10 fev. 2017.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, n. 13, p. 291-313, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)*. Brasília: MEC, 2000.

_____. Ministério de Educação e Cultura. *LDB - Lei nº 9394/96*, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da Educação Nacional. Brasília: MEC, 1996.

CARVALHO, A. M. P. *et al.* *Ciências no Ensino Fundamental: o conhecimento físico*. São Paulo: Scipione, 2005.

DOCA, R. H.; GUALTER, J. B. & NEWTON, V. B. *Física*. São Paulo: Saraiva, 2010. v. 3.

FERNANDES, R. J. Atividades práticas: possibilidades de modificações no ensino de Física. 2008. *Perquirere - Revista Eletrônica da Pesquisa*, Núcleo Interdisciplinar de Pesquisa e Extensão (NIPE) do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), ed. 5, ano 5.

FERRER, F. *et al.* *Determinação experimental das vantagens mecânicas das roldanas móvel e fixa*. 2011. 10 f. Trabalho Acadêmico. Engenharia de Automação Industrial, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

Disponível em: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAe9jQAC/trabalho-fisica-experimental-roldanas#>>. Acesso em: 21 jun. 2017.

GALIAZZI, M. C. & GONÇALVES, F. P. A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em Química. *Química nova*, v.27, n.2, p.326-331, 2004.

GASPAR, A. *Experiências de ciências para o ensino fundamental*. São Paulo: Ática, 2003.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. *Química nova na escola*, n.10, p.43-49, 1999.

GONÇALVES, A. P. Y. Disciplinas são consideradas as mais difíceis. *Jornal Cruzeiro do Sul*, Sorocaba, 28 março 2012. Disponível em: < <https://www.jornalcruzeiro.com.br/materia/375267/disciplinas-sao-consideradas-as-mais-difices>>. Acesso em: 01 fev. 2017.

HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las ciencias*, v.12, n. 13, p. 299-313, 1994.

KOYRÉ, A. *Estudios de historia del pensamiento científico*. México: SigloVeintiuno, 1988.

KRASILCHIK, M. *O professor e o currículo das ciências*. São Paulo: EPU, 1987.

LAWSON, R. & MCDERMOTT, L. Student understanding of the work-energy and impulse-momentum theorems. In: *American Journal of Physics* 55, 811 (1987). Disponível em: < <http://aapt.scitation.org/doi/pdf/10.1119/1.14994>>. Acesso em 27 jan. 2018.

LIBÂNEO, J. C. *Adeus professor, adeus professora?: novas exigências educacionais e profissão docente*. 13. ed. São Paulo: Cortez, 2011. (Coleção Questões de Nossa Época, v. 2)

MOYER, A. E. Edwin Hall and the Emergence of the Laboratory in Teaching Physics. *The Physics Teacher*. v. 14, n. 2, p. 96-103, february 1976.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de física básica 2: fluidos, oscilações e ondas, calor*. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2014.

PIASSI, L. P. C. *Que Física ensinar no 2º grau? – elementos para uma reelaboração do conteúdo*. 1995. 208f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências – Modalidade Física). Instituto de Física – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PIRES, A. S. T. *Evolução das ideias da física*. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

ROSA, C. W. da & ROSA, A. B. da. Ensino de Física: objetivos e imposições no Ensino Médio. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 4, n 1, 2005. Disponível

em: <www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen4/ART2 Vol N1.pdf> Acesso em: 4 jun. 2007.

SÉRÉ, M.; COELHO, S. M.; NUNES, A. D. O papel da experimentação no ensino da Física. In: *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, UFSC, Florianópolis, SC, v. 20, n. 1: 30-42, abr. 2003. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6560/6046>>. Acesso em: 18 fev. 2017.

SILVEIRA, M. R. A. da. “Matemática é difícil”: um sentido pré-construído evidenciado na fala dos alunos. Disponível em: <http://www.ufrj.br/emanped/paginas/conteudo_producoes/docs_25/matematica.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2017.

TRIVERS, R. M. (Org.) *Second Handbook of Research on Teaching*. Chicago: Rand McNally & Co., 1973.

UOL Educação. *Menos de 1% das escolas brasileiras têm infraestrutura ideal*. 2013. Disponível em: <<https://educacao.uol.com.br/noticias/2013/06/04/menos-de-1-das-escolas-brasileiras-tem-infraestrutura-ideal.htm>>. Acesso em 8 set. 2017.

XAVIER, J. C. Material didático para uso do professor do ensino fundamental. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 15. 2003, Curitiba. *Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Curitiba: CEFET-PR, 2003. p. 933-944. 1 CD-ROM.

YAMAMOTO, K. & FUKU, L. F. *Física para o Ensino Médio*. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

APÊNDICE A – PÊNDULO SIMPLES

Prática: Pêndulo Simples

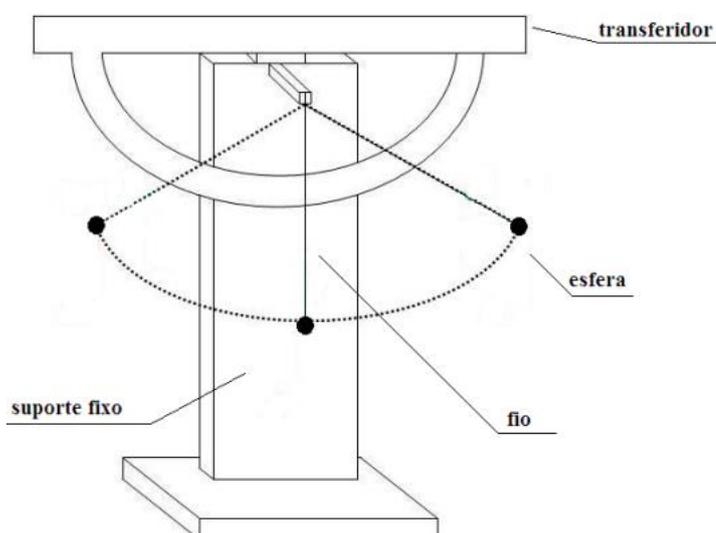
Objetivos

- Manipular as grandezas físicas envolvidas;
- Compreender os fenômenos físicos envolvidos;
- Determinar a aceleração gravitacional local.

Material

- Duas massas (**m** e **M**);
- Dois fios (linha de máquina de costurar) de comprimentos 60 cm e 100 cm;
- Um transferidor;
- Um suporte com haste fixa (ver figura);
- Uma fita métrica;
- Cronômetro.

Montagem de Pêndulo



APÊNDICE B – HIDROSTÁTICA

Prática: Hidrostática

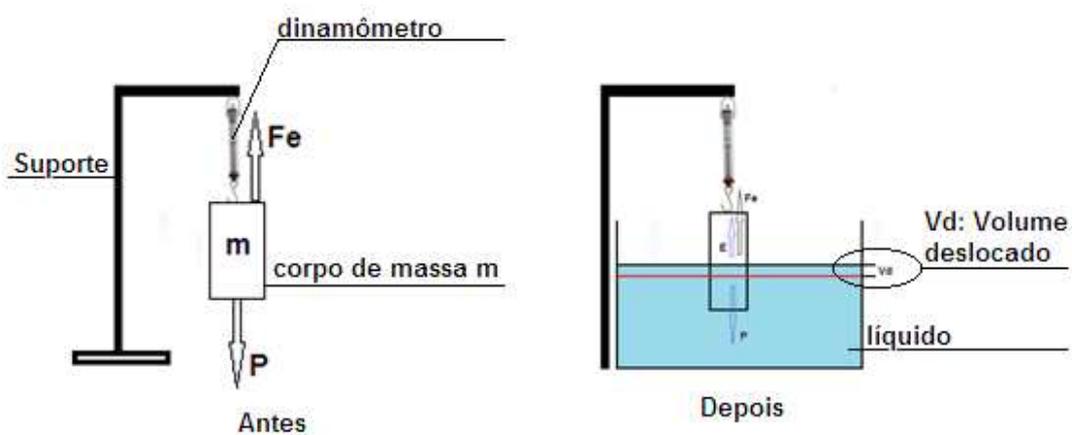
Objetivos

- Manipular as grandezas físicas envolvidas;
- Compreender os fenômenos físicos envolvidos;
- Determinar a aceleração gravitacional local.

Material

- Um dinamômetro;
- Um corpo de massa qualquer;
- Um suporte de base fixa;
- Uma proveta de plástico;
- Água.

Montagem de Hidrostática



APÊNDICE C – ONDULATÓRIA

Prática: Ondulatória

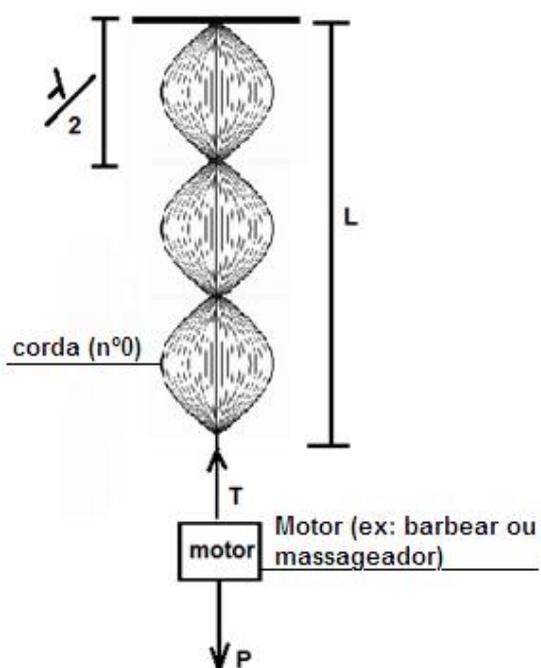
Objetivos

- Manipular as grandezas físicas envolvidas;
- Compreender os fenômenos físicos envolvidos;
- Determinar a aceleração gravitacional local.

Material

- Uma corda homogênea;
- Um motor simples;
- Uma balança de precisão;
- Uma trena.

Montagem de Ondulatória



APÊNDICE D – ROLDANAS

Prática: Roldanas

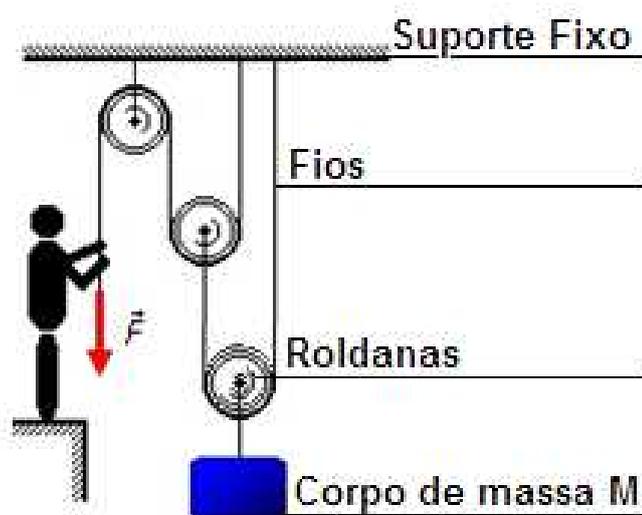
Objetivos

- Manipular as grandezas físicas envolvidas;
- Compreender os fenômenos físicos envolvidos;
- Determinar a aceleração gravitacional local.

Material

- Três roldanas de plástico;
- Dois fios;
- Um dinamômetro;
- Um suporte com haste fixa (ver figura);
- Um corpo de massa conhecida.

Montagem do Sistema de Roldana



APÊNDICE E – FORÇA PESO

Prática: Força Peso

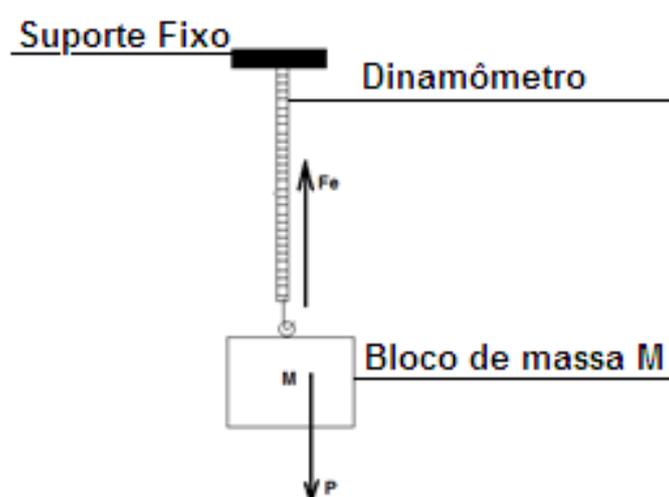
Objetivos

- Manipular as grandezas físicas envolvidas;
- Compreender os fenômenos físicos envolvidos;
- Determinar a aceleração gravitacional local.

Material

- Duas massas (**m** e **M**);
- Um suporte com haste fixa (ver figura);
- Dinamômetro.

Montagem do Experimento



APÊNDICE F – QUEDA LIVRE

Prática: Queda Livre

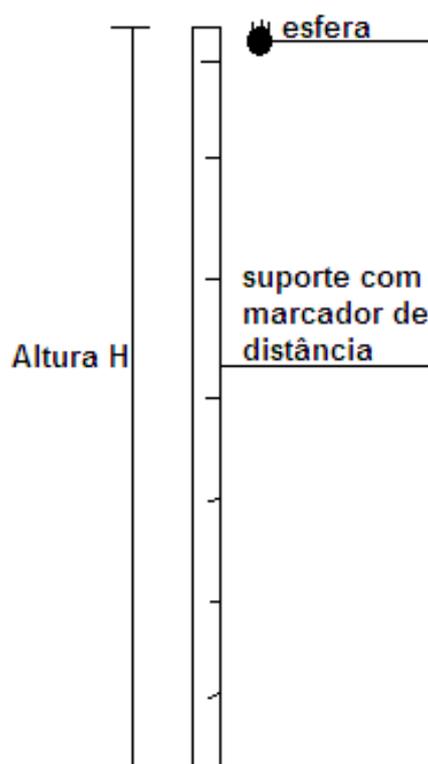
Objetivos

- Manipular as grandezas físicas envolvidas;
- Compreender os fenômenos físicos envolvidos;
- Determinar a aceleração gravitacional local.

Material

- Esfera;
- Suporte com marcador de distância;
- Cronômetro.

Montagem da Queda Livre



APÊNDICE G – QUESTIONÁRIOS

Capítulo 1 – Pêndulo Simples

- 1- Dos resultados experimentais, é possível se concluir que os períodos independem das massas? Justifique.
- 2- Dos resultados experimentais, é possível se concluir que os períodos independem dos comprimentos? Justifique.
- 3- Qual o percentual de erro encontrado na aceleração gravitacional local e o sugerido pela literatura?
- 4- Dos resultados experimentais, o que se pode concluir sobre os períodos quando a amplitude passa de 10° para 20° ? Justifique.
- 5- Qual o peso de uma pessoa de massa 65,00 kg no local onde foi realizada a experiência?
- 6- Compare o valor médio de T obtido experimentalmente para $L = 60$ cm com o seu valor calculado pela fórmula $T = 2\pi\sqrt{L/g}$ (use $g = 9,81$ m/s²). Comente.

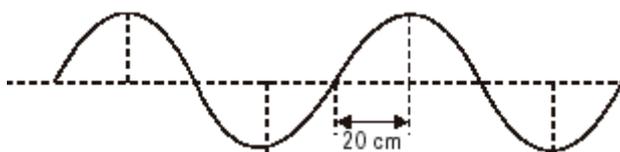
Capítulo 2 – Hidrostática

- 1- O que é um dinamômetro e como ele funciona?
- 2- O que é o volume deslocado?
- 3- O que é o peso aparente?
- 4- Por que o empuxo é uma força de reação?
- 5- Qual o percentual de erro da aceleração gravitacional local em relação à aceleração gravitacional na Terra ao nível do mar e à latitude de 45° ?
- 6- Quais os fatores que contribuíram para a margem de erro no valor de g neste experimento?

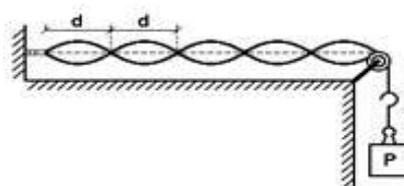
Capítulo 3 – Ondulatória

- 1- Defina densidade linear.

- 2- Calcule a densidade de uma corda homogênea de 150 cm e massa de 20g.
- 3- Qual a velocidade de uma onda cujo comprimento de onda é 30cm e a frequência vale 440 Hz?
- 4- Na figura, está representada a configuração de uma onda mecânica que se propaga com velocidade de 20 m/s. A frequência da onda, em hertz, vale:



- 5- Uma corda tracionada por uma força de 90 N, massa de 100g e comprimento de 1 metro possui uma onda cuja velocidade é de _____ m/s.
- 6- A figura representa uma configuração de ondas estacionárias produzidas num laboratório didático com uma fonte oscilante de frequência de 250 Hz.



- a) Sendo $d = 12$ cm a distância entre dois nós sucessivos, qual o comprimento da onda que se propaga no fio?
- b) A carga **P**, que traciona o fio ($m = 3 \times 10^{-4}$ kg), tem massa $M = 180$ g. Calcule a densidade linear do fio em kg/m.
- c) Determine a aceleração gravitacional local.

Capítulo 4 – Roldanas

- 1- Um sistema de polias fixas presas ao teto oferece redução na força aplicada? Explique.
- 2- Um sistema de polias com três roldanas móveis reduz a força aplicada em quantas vezes?

- 3- Num sistema de roldanas móveis, a força é reduzida de acordo com a quantidade de roldanas móveis. Explique onde fica exercido o restante da força que não é aplicada pelo agente.
- 4- Num sistema onde há quatro polias móveis, qual a força aplicada para manter um peso de massa de 96 kg? Considere a massa das cordas e a das polias desprezíveis e a aceleração gravitacional local igual a 10 m/s^2 .
- 5- Utilizando um dinamômetro e um corpo de massa 200 g, calcule o valor da aceleração gravitacional local num sistema de duas polias móveis.

Capítulo 5 – Força Peso

- 1- Existe diferença entre peso e massa? Explique.
- 2- A medida da massa de um corpo na Terra pode ser diferente se ele for levado para outro planeta? Explique.
- 3- Por que o peso medido na Terra é diferente do peso medido na Lua?
- 4- Utilizando o dinamômetro e um corpo de massa 300 gramas, qual o valor da aceleração gravitacional local, em m/s^2 ?
- 5- Considerando a questão anterior, caso a massa fosse mudada para 1000 gramas, o valor da aceleração gravitacional mudaria? Explique.

Capítulo 6 – Queda Livre

- 1- Dois corpos de massas diferentes, ao serem abandonados em queda livre, têm aceleração diferente? Explique.
- 2- Dois corpos de massas diferentes, ao serem abandonados, cairão em tempos diferentes? Explique. (Despreze a resistência do ar para responder.)
- 3- Um corpo é abandonado de um prédio de 80 m de altura. Quanto tempo leva para ele chegar ao solo? Despreze a resistência do ar e considere a aceleração da gravidade de aproximadamente 10 m/s^2 .

APÊNDICE H – CONHECIMENTOS PRÉVIOS

Conhecimentos Prévios: Força Peso

Questão 1	A massa de um corpo na Terra é diferente em outro planeta?	Sim	Não
Questão 2	O peso de um corpo é sempre o mesmo em qualquer planeta?	Sim	Não
Questão 3	A aceleração gravitacional (g) aumenta com a massa do corpo?	Sim	Não
Questão 4	Quanto maior o peso de um corpo, maior a aceleração da gravidade?	Sim	Não
Questão 5	A massa de um corpo é sempre a mesma em qualquer circunstância?	Sim	Não

Conhecimentos Prévios: Pêndulo Simples

Questão 1	Você acha que a massa interfere no período do pêndulo?	Sim	Não
Questão 2	O tamanho do fio interfere no período do pêndulo?	Sim	Não
Questão 3	Quanto maior a massa, maior será a aceleração gravitacional?	Sim	Não
Questão 4	O tempo de oscilação varia (muda) de acordo com a massa do corpo?	Sim	Não
Questão 5	A frequência do pêndulo aumenta com a diminuição da massa?	Sim	Não

Conhecimentos Prévios: Roldanas

Questão 1	Você sabe qual(is) a(s) finalidade(s) de se usar as roldanas?	Sim	Não
Questão 2	Você acha que existe diferença entre roldana fixa e roldana móvel?	Sim	Não
Questão 3	O peso do objeto varia de acordo com a quantidade de roldanas?	Sim	Não

Questão 4	A força aplicada é sempre igual ao peso do objeto suspenso?	Sim	Não
Questão 5	A força aplicada independe do número de polias livres?	Sim	Não

Conhecimentos Prévios: Hidrostática

Questão 1	A massa de um corpo varia dependendo do líquido em que está inserido?	Sim	Não
Questão 2	O volume de líquido deslocado, após a inserção do corpo, é exatamente igual ao volume submerso do corpo?	Sim	Não
Questão 3	O líquido exerce uma força sobre o corpo que aponta para cima?	Sim	Não
Questão 4	Você acha que o tipo de líquido interfere no peso aparente do corpo?	Sim	Não
Questão 5	A aceleração gravitacional depende do tipo de líquido em que o corpo está inserido?	Sim	Não

Conhecimentos Prévios: Queda Livre

Questão 1	Imagine um local onde a resistência do ar é dispensável. Você acha que a massa de um corpo interfere na aceleração gravitacional?	Sim	Não
Questão 2	A velocidade de um corpo em queda livre é maior quanto maior for a sua massa?	Sim	Não
Questão 3	Quanto menor a massa, menor o tempo de queda desse corpo?	Sim	Não
Questão 4	Você acha que a aceleração gravitacional depende sempre da altura em que o corpo se encontra?	Sim	Não
Questão 5	A velocidade de queda de um corpo é sempre constante?	Sim	Não

Conhecimentos Prévios: Ondulatória

Questão 1	Você acha que uma onda transporta matéria?	Sim	Não
Questão 2	O número de nós aumenta com o aumento da massa do objeto suspenso?	Sim	Não
Questão 3	O número de nós aumenta com o comprimento do fio?	Sim	Não
Questão 4	Você acha que a aceleração gravitacional depende da massa?	Sim	Não
Questão 5	Você acha que a aceleração gravitacional depende do comprimento do fio?	Sim	Não

APÊNDICE I – APLICAÇÃO DO PRODUTO COM OS ALUNOS

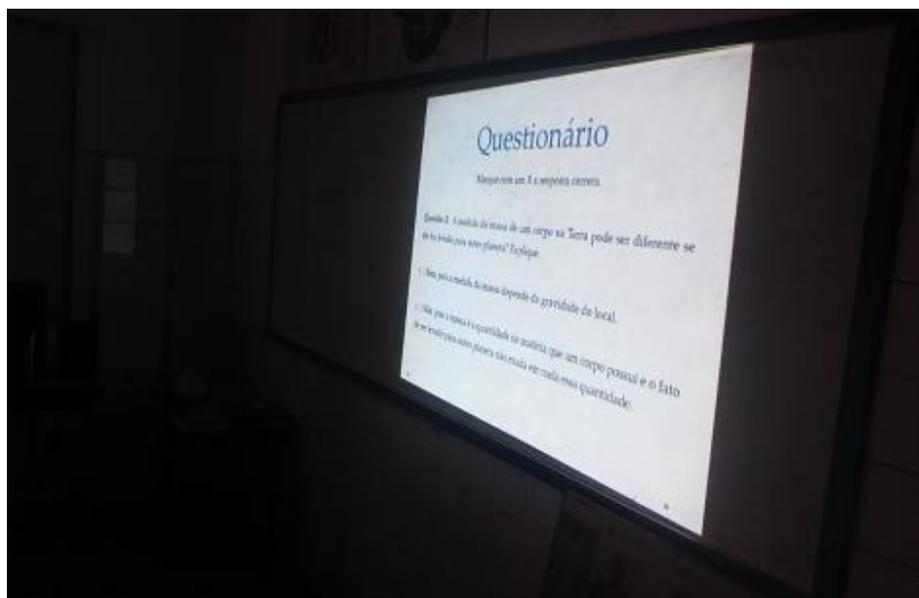


Foto 1 – Aplicando o questionário com os alunos após a aula prática.



Foto 2 – Ministração da aula sobre força peso com alunos do 2º Ano do Ensino Médio. Momento em que os alunos estão recebendo as instruções sobre material utilizado no experimento, montagem e procedimentos.



Foto 3 – Alunos do 2º Ano fazendo a prática da força peso no laboratório de Ciências da escola individualmente. Nesse momento, eles estavam fazendo a relação entre a massa e o peso.



Foto 4 – Alunos do 9º Ano fazendo a prática da força peso no laboratório de Ciências da escola individualmente. Nesse momento, eles estavam medindo a força peso com o dinamômetro.



Foto 5 – Alunos do 3º Ano do Ensino Médio fazendo a prática da força peso, em grupo, na sala de aula.



Foto 6 – Ministração da aula de pêndulo.



Foto 7 – Alunos do 1º Ano do Ensino Médio medindo o comprimento do fio do pêndulo e fazendo anotações.



Foto 8 – Alunos do 1º Ano registrado o tempo de oscilações do pêndulo simples para calcular a frequência e o período.



Foto 9 – Alunos do 1º Ano fazendo o cálculo da aceleração gravitacional.

APÊNDICE J – RESULTADO DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O Produto Educacional foi aplicado aos alunos do turno da noite do 3º Ano do Ensino Médio da Escola Estadual EEFM Dona Hilza Diogo de Oliveira (HDO). A escolha dessa turma foi proposital, pois os alunos desse turno, normalmente, trabalham durante o dia ou estão fora da faixa etária. A ideia era fazer um levantamento sobre o conhecimento adquirido nos anos anteriores e observar o quanto era possível aprender os conceitos de Física de forma fácil e atraente. O resultado aqui mostrado é apenas uma amostra, pois a Escola possui apenas uma turma de 3º Ano no período da noite, com 29 alunos.

Por questão de tempo, o questionário dos conhecimentos prévios foi aplicado todo no mesmo momento da aula, ou seja, foi destinada uma aula inteira para que os alunos pudessem responder aos seis assuntos propostos neste estudo. No entanto, isso não atrapalhou em nada a importância do trabalho, pois é claramente possível perceber que o produto melhora bastante o conhecimento dos alunos a respeito dos fenômenos físicos estudados, uma vez que a sua aplicação segue a mesma metodologia para todas as práticas.

Observam-se agora os conhecimentos prévios dos alunos nos seis assuntos propostos neste trabalho e o resultado final após a aplicação do Produto Educacional aos 29 alunos do 3º Ano G (noite) do HDO.

Conhecimentos Prévios: Força Peso

Questão 1	A massa de um corpo na Terra é diferente em outro planeta?	Sim 90%	Não 10%
Questão 2	O peso de um corpo é sempre o mesmo em qualquer planeta?	Sim 34%	Não 66%
Questão 3	A aceleração gravitacional (g) aumenta com a massa do corpo?	Sim 59%	Não 41%
Questão 4	Quanto maior o peso de um corpo, maior a aceleração da gravidade?	Sim 76%	Não 24%
Questão 5	A massa de um corpo é sempre a mesma em qualquer circunstância?	Sim 28%	Não 72%

Nesse assunto, é possível perceber, pelas questões 1 e 5, que os alunos dessa turma não compreendem bem a diferença entre as grandezas físicas peso e massa. Está claro que eles estão confundindo os conceitos de massa e peso, ou seja, eles não entenderam que a massa de um corpo é independente da aceleração gravitacional.

Pelas respostas às questões 3 e 4, nota-se que os alunos não assimilam bem a relação da massa, do peso e da aceleração gravitacional. Não está bem sedimentado que a aceleração gravitacional é uma constante e que o peso varia de acordo com a massa, considerando que esse corpo esteja num mesmo planeta.

Na questão 2, deduz-se que os alunos não compreendem ainda que o peso é uma força de atração entre massas, ou seja, dependendo da massa do planeta, tem-se um peso diferente para uma mesma massa, pois a atração será diferente (aceleração gravitacional local).

Após a aplicação do Produto Educacional, ficou claro para os alunos que massa e peso são grandezas diferentes, que massa é a quantidade de matéria de um corpo e que peso é uma força de atração entre massas (Terra – corpo) e que a aceleração gravitacional é aproximadamente constante em qualquer ponto da Terra.

Conhecimentos Prévios: Pêndulo Simples

Questão 1	Você acha que a massa interfere no período do pêndulo?	Sim 75%	Não 25%
Questão 2	O tamanho do fio interfere no período do pêndulo?	Sim 48%	Não 52%
Questão 3	Quanto maior a massa, maior será a aceleração gravitacional?	Sim 69%	Não 31%
Questão 4	O tempo de oscilação varia (muda) de acordo com a massa do corpo?	Sim 75%	Não 25%
Questão 5	A frequência do pêndulo aumenta com a diminuição da massa?	Sim 66%	Não 34%

No assunto Pêndulo Simples, percebe-se que os alunos têm uma grande dificuldade de compreender que a massa não interfere na oscilação e muito menos no tempo de oscilação do pêndulo. É o que se entende no resultado da pesquisa das questões 1 e 4. É notável também a grande dificuldade de desassociar a relação da

massa com a aceleração gravitacional (questão 3). Por fim, a maioria da sala não entende que o comprimento do fio é uma grandeza que pode interferir na frequência do pêndulo simples se considerar o pêndulo na Terra.

Após a aplicação do Produto Educacional, os alunos assimilaram que a massa não interfere absolutamente em nada na aceleração gravitacional e no período de oscilação do pêndulo. Foi possível perceber, com clareza, que a grandeza modificadora pelas mudanças é o tamanho do fio, que altera o período e a frequência.

Conhecimentos Prévios: Roldanas

Questão 1	Você sabe qual(is) a(s) finalidade(s) de se usar as roldanas?	Sim 86%	Não 16%
Questão 2	Você acha que existe diferença entre roldana fixa e roldana móvel?	Sim 79%	Não 21%
Questão 3	O peso do objeto varia de acordo com a quantidade de roldanas?	Sim 83%	Não 17%
Questão 4	A força aplicada é sempre igual ao peso do objeto suspenso?	Sim 41%	Não 59%
Questão 5	A força aplicada independe do número de polias livres?	Sim 59%	Não 41%

No assunto de Roldanas, os alunos se saíram bem melhor, pois o conhecimento deles é prático. A maioria tem acesso a roldana, pois eles utilizam para puxar água da cacimba ou ajudam o pai na construção civil. Dessa forma, não foi difícil responder às questões 1, 2 e 4. No entanto, na parte conceitual, eles deixaram a desejar. Estão confundindo o peso do objeto com a força aplicada (questão 3) e a relação entre a força aplicada e o número de polias móveis (questão 5).

Após a aplicação do Produto Educacional, percebe-se que os conceitos que eles sabiam foram confirmados e que a relação entre a força aplicada e o número de roldanas móveis tinha uma relação inversa, ou seja, quanto maior o número de polias móveis, menor a força aplicada, e que o peso do objeto não se altera.

Conhecimentos Prévios: Hidrostática

Questão 1	A massa de um corpo varia dependendo do líquido em que está inserido?	Sim 79%	Não 21%
Questão 2	O volume de líquido deslocado, após a inserção do corpo, é exatamente igual ao volume submerso do corpo?	Sim 34%	Não 66%
Questão 3	O líquido exerce uma força sobre o corpo que aponta para cima?	Sim 69%	Não 31%
Questão 4	Você acha que o tipo de líquido interfere no peso aparente do corpo?	Sim 69%	Não 31%
Questão 5	A aceleração gravitacional depende do tipo de líquido em que o corpo está inserido?	Sim 48%	Não 52%

Mais uma vez, nota-se que há uma má interpretação do conceito de massa, pois a maioria dos alunos acredita que a massa de um corpo varia com o tipo de líquido (ver questão 1). Isso leva a acreditar que há uma confusão entre o conceito de massa e peso. Na questão 2, percebe-se que grande parte dos alunos não compreende o Princípio de Arquimedes, ou seja, dissocia o volume imerso do corpo com o volume deslocado. Nas questões 3 e 4, a maioria concorda que existe uma força para cima e que o tipo de líquido interfere no peso do corpo, porém uma pequena parcela acredita que não, o que se leva a crer que as ideias de empuxo e densidade não foram bem compreendidas. Por fim, quase metade dos alunos não entende que a aceleração gravitacional é uma constante e que independe do líquido em que o corpo está inserido.

Após a aplicação do Produto Educacional, notou-se que a diferença entre peso e massa foi bem percebida nas práticas anteriores e reforçada nessa aula. Foi possível verificar na prática que o volume deslocado é o mesmo do volume submerso e que o tipo de líquido interfere no peso aparente do corpo. Por fim, os alunos já estavam cada vez mais convictos de que aceleração é uma constante e que não sofreria mudança com o tipo de líquido.

Conhecimentos Prévios: Queda Livre

Questão 1	Imagine um local onde a resistência do ar é dispensável. Você acha que a massa de um corpo interfere na aceleração gravitacional?	Sim 59%	Não 41%
Questão 2	A velocidade de um corpo em queda livre é maior quanto maior for a sua massa?	Sim 83%	Não 17%
Questão 3	Quanto menor a massa, menor o tempo de queda desse corpo?	Sim 34%	Não 64%
Questão 4	Você acha que a aceleração gravitacional depende sempre da altura em que o corpo se encontra?	Sim 62%	Não 38%
Questão 5	A velocidade de queda de um corpo é sempre constante?	Sim 52%	Não 48%

Seguindo a coerência, os alunos continuam acreditando que a massa tem alguma relação com a aceleração gravitacional (questão 1). Nas questões 2 e 3, quase todos acreditam que a massa do corpo pode aumentar ou diminuir a velocidade de queda, o que corrobora com o entendimento deles na resposta à primeira questão. Na questão 4, outra grandeza física (altura) foi avaliada, e, mais uma vez, os alunos acreditam que a aceleração gravitacional é variável com essa grandeza. Na questão 5, percebe-se uma deficiência no entendimento em relação aos tipos de movimento e suas características, pois, ao mesmo tempo em que eles acreditam que a aceleração gravitacional atua no corpo, eles também afirmam que a velocidade do corpo é constante (movimento uniforme).

Infelizmente, essa prática experimental não foi possível ser aplicada com os alunos, pois o equipamento medidor de velocidade e tempo da escola estava quebrado. No entanto, foi ministrada a Aula 02 do Produto Educacional, o que deu para ajudar na compreensão do comportamento do corpo em queda livre e mostrar que, em situações ideais, a massa não influencia no tempo de queda e nem na aceleração da gravidade.

Conhecimentos Prévios: Ondulatória

Questão 1	Você acha que uma onda transporta matéria?	Sim 66%	Não 34%
Questão 2	O número de nós aumenta com o aumento da massa do objeto suspenso?	Sim 66%	Não 34%
Questão 3	O número de nós aumenta com o comprimento do fio?	Sim 55%	Não 45%
Questão 4	Você acha que a aceleração gravitacional depende da massa?	Sim 83%	Não 17%
Questão 5	Você acha que a aceleração gravitacional depende do comprimento do fio?	Sim 55%	Não 45%

Analisando os conhecimentos de ondulatória dos alunos, percebe-se, na questão 1, que a maioria acredita que uma onda transporta matéria, talvez por confundir com a onda do mar. Na questão 2, há um equívoco na relação da massa do corpo suspenso com o número de nós. Na questão 3, a maioria acerta por achar que, se aumentar o comprimento da corda, surgirão mais nós. Nas questões 4 e 5, o que já era esperado, o aluno acredita que a massa e o comprimento do fio têm uma relação direta com aceleração gravitacional.

Após a aplicação do Produto Educacional, nota-se que ficou claro para o aluno que a aceleração gravitacional é constante em qualquer situação, ou seja, para qualquer massa ou comprimento de fio, mas que essas grandezas são necessárias para calcular o seu valor e que há uma relação de proporcionalidade entre a tração na corda e a massa suspensa, o que gera a quantidade de nós.

APÊNDICE K – PRODUTO EDUCACIONAL

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

ALLYSON DE SOUSA ALEXANDRE DA SILVA

PRODUTO EDUCACIONAL: O ENSINO DE FÍSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA
USANDO COMO MOTIVAÇÃO A DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO
GRAVITACIONAL

FORTALEZA

2018

ALLYSON DE SOUSA ALEXANDRE DA SILVA

PRODUTO EDUCACIONAL: O ENSINO DE FÍSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA
USANDO COMO MOTIVAÇÃO A DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO
GRAVITACIONAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Nildo Loiola Dias

FORTALEZA

2018

SUMÁRIO

1 FORÇA PESO.....	13
1.1 Aula 01	13
1.1.1 Força Peso: Conhecimentos Prévios	13
1.1.2 Força Peso: Material Utilizado	13
1.1.3 Força Peso: Montagem do Experimento	14
1.1.4 Força Peso: Procedimentos	14
1.1.5 Força Peso: Exercícios de Fixação	16
1.2 Aula 02.....	17
1.2.1 A Física na História	17
1.2.2 Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio da Força Peso	18
2 PÊNDULO SIMPLES	20
2.1 Aula 01	20
2.1.1 Pêndulo Simples: Conhecimentos Prévios	20
2.1.2 Pêndulo Simples: Material Utilizado	21
2.1.3 Pêndulo Simples: Montagem do Experimento	21
2.1.4 Pêndulo Simples: Procedimentos	22
2.1.5 Pêndulo Simples: Exercícios de Fixação	23
2.2 Aula 02.....	23
2.2.1 A Física na História	23
2.2.2 As Primeiras Determinações da Aceleração Gravitacional	24
2.2.3 O Método de Bessel	25
2.2.4 Demonstração da Equação da Aceleração Gravitacional em Função do Tempo e do Comprimento do Pêndulo	26
3 HIDROSTÁTICA	31
3.1 Aula 01	31
3.1.1 Hidrostática: Conhecimentos Prévios	31
3.1.2 Hidrostática: Material Utilizado	31
3.1.3 Hidrostática: Montagem do Experimento	32
3.1.4 Hidrostática: Procedimentos	33
3.1.5 Hidrostática: Exercícios de Fixação	35
3.2 Aula 02.....	36
3.2.1 A Física na História	36

3.2.2 O Teorema de Arquimedes	37
3.2.3 O Teorema de Stevin	38
3.2.4 Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio do Teorema de Arquimedes	39
4 ONDULATÓRIA.....	41
4.1 Aula 01	41
4.1.1 Conhecimentos Prévios	41
4.1.2 Ondulatória: Material Utilizado	41
4.1.3 Ondulatória: Montagem do Experimento	42
4.1.4 Ondulatória: Procedimentos	43
4.1.5 Ondulatória: Exercícios de Fixação	43
4.2 Aula 02.....	44
4.2.1 A Física na História	44
4.2.2 Velocidade de uma Onda	48
4.2.3 Fórmula de Taylor	49
4.2.4 Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio de uma Corda Tensionada	51
5 ROLDANAS	53
5.1 Aula 01	53
5.1.1 Roldanas: Conhecimentos Prévios	53
5.1.2 Roldanas: Material Utilizado	53
5.1.3 Roldanas: Montagem do Experimento	54
5.1.4 Roldana: Procedimentos	55
5.1.5 Roldana: Exercícios de Fixação	56
5.2 Aula 02.....	56
5.2.1 A Física na História	56
5.2.2 Força Aplicada Utilizando Polia Fixa	59
5.2.3 Força Aplicada Utilizando Polia Móvel	59
5.2.4 Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio de Roldanas (Polias)	61
6 QUEDA LIVRE.....	63
6.1 Aula 01	63
6.1.1 Queda Livre: Conhecimentos Prévios	63
6.1.2 Queda Livre: Material Utilizado.....	63

6.1.3 Queda Livre: Montagem do Experimento	64
6.1.4 Queda Livre: Procedimentos	65
6.1.5 Queda Livre: Exercícios de Fixação	66
6.2 Aula 02.....	66
6.2.1 A Física na História	66
6.2.2 Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio da Queda Livre pelo Princípio da Conservação da Energia Mecânica	67
6.2.3 Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio da Queda Livre pela Cinemática	68
7 REFERÊNCIAS.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Montagem da força peso.....	14
Figura 2 – Aferição da massa.....	15
Figura 3 – Ilustração de um dinamômetro distendido.....	16
Figura 4 – Bloco preso ao dinamômetro	18
Figura 5 – Montagem do pêndulo simples	22
Figura 6 – Pêndulo simples.....	25
Figura 7 – Pêndulo simples com aplicação das forças atuantes	26
Figura 8 – Pêndulo com pequena elongação.....	27
Figura 9 – Montagem com o corpo fora do líquido	33
Figura 10 – Montagem com o corpo dentro do líquido	33
Figura 11 – Dinamômetro.....	34
Figura 12 – Corpo suspenso	34
Figura 13 – Corpo preso ao dinamômetro parcialmente submerso.....	35
Figura 14 – Recipiente com líquido e um corpo completamente imerso	37
Figura 15 – Recipiente em equilíbrio hidrostático.....	38
Figura 16 – Equipamento montado e em equilíbrio	40
Figura 17 – Montagem do experimento.....	42
Figura 18 – Exemplos de onda transversal e onda longitudinal	45
Figura 19 – Comprimento de onda e amplitude	46
Figura 20 – Frequência fundamental e harmônicos	47
Figura 21 – Comportamento da onda com corda fixa e livre.....	47
Figura 22 – Medida do comprimento de onda	48
Figura 23 – Análise de um pedaço muito pequeno da corda	49
Figura 24 – Corda tensionada.....	51
Figura 25 – Montagem com uma roldana fixa	55
Figura 26 – Montagem com uma roldana fixa e uma livre.....	55
Figura 27 – Componentes de uma roldana	57
Figura 28 – Direção da força aplicada.....	58
Figura 29 – Sistemas de roldanas livres	59
Figura 30 – Aplicação da força em várias e uma direção.....	59
Figura 31 – Aplicação das forças	60

Figura 32 – Aplicação das forças num sistema de duas polias livres.....	61
Figura 33 – Sistema de uma polia móvel	62
Figura 34 – Montagem do experimento de queda livre	65
Figura 35 – Corpo caindo livremente	67
Figura 36 – Esfera em queda livre	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Conhecimentos prévios: força peso	13
Tabela 2 – Material utilizado na prática experimental	14
Tabela 3 – Conhecimentos prévios: pêndulo simples	20
Tabela 4 – Material utilizado na prática experimental	21
Tabela 5 – Conhecimentos prévios: hidrostática.....	31
Tabela 6 – Material utilizado na prática experimental	32
Tabela 7 – Conhecimentos prévios: ondulatória	41
Tabela 8 – Material utilizado na prática experimental	42
Tabela 9 – Conhecimentos prévios: roldanas	53
Tabela 10 – Material utilizado na prática experimental	54
Tabela 11 – Conhecimentos prévios: queda livre.....	63
Tabela 12 – Material utilizado na prática experimental	64

SOBRE O AUTOR

Allyson de Sousa Alexandre da Silva é Licenciado em Física pela Universidade Estadual do Ceará (UECE), com Especialização em Gestão Escolar pela Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), e Professor da rede pública estadual de ensino do Estado do Ceará. Atua no Ensino Médio há dez anos.

“O Ensino de Física na Educação Básica Usando como Motivação a Determinação da Aceleração Gravitacional” é um trabalho que foi desenvolvido para auxiliar a prática docente e facilitar, por meio de prática experimental, a compreensão dos fenômenos físicos estudados pelos alunos da educação básica, possibilitando a eles uma maior interação com variáveis envolvidas no fenômeno.

Entendemos que apenas o modo tradicional de ensinar Física não é suficiente para atrair e motivar os alunos pela disciplina. Assim, procurei uma forma mais interativa e atraente para o aluno, buscando desenvolver as habilidades trazidas por eles e aperfeiçoando-as, sem deixar de lado o formalismo matemático e a história do assunto estudado.

Nesses dez anos em sala de aula, sempre fui cobrado pelos alunos para fazer práticas experimentais. Percebi que eles gostam de interagir, porém suas expectativas são frustradas quando o professor se limita simplesmente ao quadro e pincel, com várias “fórmulas” que precisam ser “decoradas” para fazer a prova.

Diante disso, procurei trabalhar com os alunos de uma forma diferente, partindo para a prática experimental, trabalhando as habilidades de cada um, extraíndo deles as suas próprias conclusões e ajudando-os a escrever numa linguagem matemática. Porém, o principal objetivo era fazer com que eles soubessem descrever o fenômeno físico de forma qualitativa, deixando a forma quantitativa para os alunos mais vocacionados.

Confesso que inicialmente não foi fácil sair da zona de conforto, pois, além das dificuldades internas (cansaço, tempo etc.), havia as dificuldades externas (baixos salários, carga horária excessiva etc.) que dificultavam o meu trabalho com os alunos em sala de aula. No entanto, decidi fazer um esforço para mudar essa realidade e, para minha surpresa, valeu muito a pena, pois o reconhecimento e os resultados foram imediatos, o que passou a facilitar muito o meu trabalho, pois os alunos passaram a compreender melhor e a se interessar mais pela disciplina.

Assim, não foi difícil escolher o tema da minha Dissertação, pois decidi escrever sobre algo que já vivencio no meu dia a dia da prática docente. Vi neste trabalho uma grande oportunidade de compartilhar com os colegas professores essa experiência, que me trouxe bons resultados e um reconhecimento imensurável do meu trabalho com aos alunos e a escola onde trabalho.

Por fim, espero, sinceramente, contribuir com o ensino de Física no meu Estado ou, quem sabe, no meu país, a quem tenho a imensa gratidão pela oportunidade que me foi dada. Não quero mudar a metodologia de ensino dos colegas professores de Física, mas auxiliar o trabalho já desenvolvido pelos colegas professores.

TUTORIAL

Vamos descrever os procedimentos de aplicação do Produto Educacional. Vale ressaltar que a metodologia descrita não é impositiva, mas tem como objetivo mostrar como foi aplicado esse produto educacional segundo a realidade de uma das escolas públicas do Estado do Ceará. A ideia do trabalho é dar um suporte (complemento) ao professor na sua prática docente, e não uma nova metodologia.

Para que o produto educacional alcance o seu objetivo, é muito importante o professor fazer uma análise da turma para verificar qual momento é mais oportuno para aplicá-lo. Por exemplo: se a turma tem uma deficiência em Matemática, é interessante ele trabalhar a prática experimental antes de desenvolver qualquer equação, fazendo com que os alunos busquem primeiramente conhecer as grandezas físicas e suas implicações no fenômeno, para depois fazer um estudo teórico mais detalhado. Caso contrário, se o professor percebe que a turma tem condições de aprender primeiramente a parte teórica e, posteriormente, de ver a parte prática, não há problema algum. O importante é que os alunos consigam abstrair o máximo de conhecimento possível sem causar nenhuma repulsa pela disciplina.

Aplicação do Produto Educacional

Este produto foi elaborado para ser aplicado em duas aulas de 50 minutos. A primeira aula é destinada à parte de diagnóstico (conhecimentos prévios dos alunos) e à parte experimental. A segunda aula destina-se à parte teórica e exercícios de fixação.

Seguindo o roteiro para aula 01, a primeira coisa a ser feita é uma avaliação prévia dos alunos a respeito do assunto a ser abordado, ou seja, qual o conhecimento trazido por eles sobre o que será estudado. Nesse momento, o professor fará apenas uma sondagem, para que, no decorrer da prática experimental, ele possa enfatizar os pontos fortes e os pontos fracos dos alunos. É interessante que esse professor não exija algum tipo de formalidade ou nomes técnicos nas respostas dos alunos e que não faça qualquer tipo de juízo de valor nas respostas dadas por eles. Isso dará confiança e liberdade ao aluno na hora de responder ou perguntar.

Após essa avaliação prévia de conhecimentos, o professor fará uma apresentação dos materiais que serão utilizados na prática experimental. É muito

importante que, dependendo da prática, sejam utilizados materiais simples e de baixo custo, de modo que o aluno consiga adquirir com facilidade. Nesse momento, o professor pode apresentar os materiais empregando nomes técnicos, se for o caso, e dizendo a que tipo de grandeza física está associado o material. Por exemplo: dinamômetro é o aparelho usado para medir força!

Posteriormente à apresentação dos materiais, o professor mostrará como será feita a montagem da prática experimental. O ideal é que cada aluno tenha o seu material. Caso contrário, poderão ser formadas equipes. O importante é que todos participem e manipulem o experimento de modo a tirar conclusões do fenômeno físico estudado.

Após a prática experimental montada, o professor instruirá aos alunos que manipulem as variáveis do experimento para que eles consigam tirar conclusões a respeito do que foi perguntado inicialmente. Por exemplo: caso a massa de 50 g presa ao dinamômetro seja substituída por uma de 100 g, o valor registrado será maior ou menor? Com isso, espera-se que o aluno perceba que o peso e a massa têm uma relação direta de proporcionalidade.

Por fim, após a prática experimental, o professor irá refazer as perguntas que foram feitas no início da aula. Espera-se que os alunos tenham um aproveitamento maior sobre a compreensão dos assuntos estudados. É muito importante que o aluno, ainda que tenha dificuldades em Matemática, possua um senso crítico do fenômeno e tenha pelo menos uma noção do possível resultado esperado. Por exemplo: se o valor da aceleração gravitacional num determinado planeta for baixo, comparado com o da Terra, certamente o peso desse corpo será menor em relação ao peso na Terra.

Para aula 02, o professor irá abordar a parte teórica, iniciando com a parte histórica do assunto, a determinação da aceleração gravitacional por meio das equações e os exercícios.

**O ENSINO DE FÍSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA USANDO COMO MOTIVAÇÃO A
DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO GRAVITACIONAL**

1 FORÇA PESO

1.1 Aula 01

1.1.1 Força Peso: Conhecimentos Prévios

Seguindo o cronograma descrito no Tutorial, aplicamos cinco perguntas prévias.

Tabela 1 – Conhecimentos prévios: força peso

Questão 1	A massa de um corpo na Terra é diferente em outro planeta?	Sim	Não
Questão 2	O peso de um corpo é sempre o mesmo em qualquer planeta?	Sim	Não
Questão 3	A aceleração gravitacional (g) aumenta com a massa do corpo?	Sim	Não
Questão 4	Quanto maior o peso de um corpo, maior a aceleração da gravidade?	Sim	Não
Questão 5	A massa de um corpo é sempre a mesma em qualquer circunstância?	Sim	Não

Essas perguntas são feitas de forma que o professor possa diagnosticar a turma e os conhecimentos prévios dos alunos a respeito das grandezas envolvidas no assunto estudado, que, no caso, são: peso, massa e aceleração gravitacional. Vale ressaltar que a prática tem como objetivo específico encontrar a aceleração gravitacional, no entanto o objetivo geral é ensinar os conceitos de Física.

1.1.2 Força Peso: Material Utilizado

Após os conhecimentos prévios, o professor irá apresentar o material utilizado na prática experimental, mostrando a finalidade e a que grandeza física está relacionado esse material, conforme a Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 – Material utilizado na prática experimental

	Dinamômetro: equipamento usado para medir a força.
	Massas: quantidade de matéria de um corpo.
	Suporte: equipamento usado para sustentar e manter em equilíbrio um sistema.

1.1.3 Força Peso: Montagem do Experimento

Na montagem do experimento, é interessante que o professor faça um modelo para que os alunos possam observar, conforme a Figura 1, abaixo.

Figura 1 – Montagem da força peso



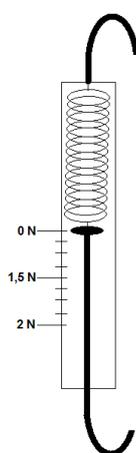
Fonte: elaborado pelo autor.

1.1.4 Força Peso: Procedimentos

É muito importante que o professor adote um procedimento. Caso contrário, o aluno pode se confundir ou ter dificuldades em tirar conclusões corretas. Portanto, para esta prática, foram adotados os seguintes procedimentos:

1. **Calibrar o Dinamômetro:** verificar se a posição inicial do marcador de deformação da mola está na posição zero. Isso é possível girando o parafuso que fica na parte superior do dinamômetro (ver Figura 2).

Figura 2 – Aferição da massa



Fonte: elaborado pelo autor.

2. **Montar o experimento:** para a montagem inicial, utilizar uma massa de 100 g.
3. **Verificar as escalas do dinamômetro:** para este estudo, será utilizada a escala de Newton. É importante observar a quantidade de intervalos entre um valor e outro subsequente para fazer a medição mais precisa possível.
4. No caso da Figura 3, entre o 1,5 N e o 2 N tem-se o registro da força elástica. Dessa forma, o valor aferido deve ser feito da seguinte maneira:

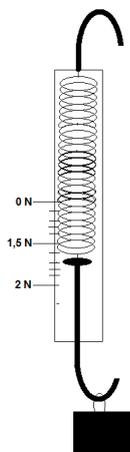
$F_e = \text{último registro marcado da escala} + c \times \Delta F_e$, onde c é o número de subdivisões.

$\Delta F_e = \frac{\Delta X_e}{n}$, onde ΔX_e é o intervalo da escala do dinamômetro e n é o número de divisões do intervalo de ΔF_e . Assim, tem-se que:

$$\Delta F_e = \frac{0,5}{5} = 0,1$$

$$F_e = 1,5 \text{ N} + (2 \times 0,1) = 1,5 \text{ N} + 0,2 \text{ N} = 1,7 \text{ N}$$

Figura 3 – Ilustração de um dinamômetro distendido



Fonte: elaborado pelo autor.

5. Para encontrar o valor da aceleração gravitacional local, deve-se utilizar a equação abaixo:

$$g = \frac{F_e}{m}$$

6. Após o cálculo da aceleração gravitacional, deve-se fazer novamente, porém com uma massa de 200 g, e comparar os valores.

1.1.5 Força Peso: Exercícios de Fixação

1. Existe diferença entre peso e massa? Explique.
2. A medida da massa de um corpo na Terra pode ser diferente se ele for levado para outro planeta? Explique.
3. Por que o peso medido na Terra é diferente do peso medido na Lua?
4. Utilizando o dinamômetro e um corpo de massa 300 gramas, qual o valor da aceleração gravitacional local, em m/s^2 ?
5. Considerando a questão anterior, caso a massa fosse mudada para 1000 gramas, o valor da aceleração gravitacional mudaria? Explique.

1.2 Aula 02

1.2.1 A Física na História

A força peso está presente em todos os corpos que estão sobre a superfície terrestre. Isso é fácil de perceber, porém muitos esforços foram feitos durante séculos para buscar uma explicação. Uma das primeiras tentativas de explicar foi feita pelo filósofo grego Aristóteles, que concluiu que os objetos mais pesados chegariam mais rápidos que os mais leves. Essa ideia foi aceita até o século XVII, pois Galileu Galilei apresentou sua explicação dizendo que todos os objetos tinham a mesma aceleração, desde que nenhuma força externa ou resistência do ar os freasse.

Assim, todo corpo que possui massa está sujeito a uma força gravitacional, pois há uma força de interação entre a massa do corpo e a massa da Terra. Essa interação é devido ao campo gerado pelas massas. Dessa forma, pode-se definir o peso (ou força peso) como sendo uma força de atração gravitacional entre a massa da Terra e a massa de um corpo qualquer na sua superfície, dirigida verticalmente para baixo. Segundo Nussenzveig (2014), a força peso pode ser descrita também como sendo a taxa de variação temporal do momento. Portanto, graças à proporcionalidade dessa força à massa inercial é que se pode garantir que a aceleração gravitacional é a mesma para qualquer corpo.

É importante deixar claro, para evitar possível confusão, que o conceito de massa e o de peso são diferentes, pois a massa está relacionada à quantidade de matéria (grandeza escalar) e o peso é uma força (grandeza vetorial), como já havia sido definido anteriormente. Sendo assim, a massa de um corpo é sempre constante em qualquer lugar. O mesmo não se pode afirmar em relação à força peso, pois, dependendo do lugar, podem-se ter dois valores de peso para uma mesma massa. Por exemplo: o peso de uma massa de 20 kg na Terra vale aproximadamente 200 Newton, pois a aceleração gravitacional tem valor próximo de 10 m/s^2 . Porém, a mesma massa na Lua, cuja gravidade é de aproximadamente $1,622 \text{ m/s}^2$, tem valor de aproximadamente 32 Newton.

Portanto, o peso de um corpo depende da aceleração gravitacional do local. Na própria Terra, é possível ter valores para aceleração gravitacional diferentes, pois a

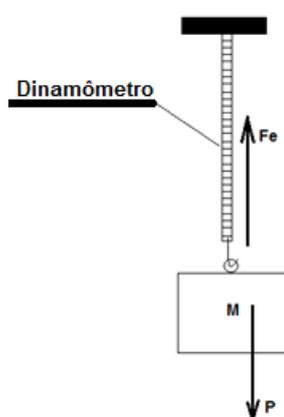
[2] <https://www.google.com.br/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=gravidade%20na%20lua>. Acesso em 20/01/2017.

altitude e a longitude interferem no valor da gravidade. Por exemplo, os corpos têm peso maior nas baixas altitudes em relação ao nível do mar, porque a intensidade da aceleração da gravidade aumenta com a diminuição da distância ao centro da Terra e aumenta do Equador aos polos.

1.2.2 Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio da Força Peso

A determinação da aceleração gravitacional local utilizando os conceitos de dinâmica, especificamente a força peso, que faz parte da Segunda Lei de Newton, conhecido como Princípio Fundamental da Dinâmica (PFD), é um dos experimentos mais simples, pois precisa de um dinamômetro e um corpo de massa conhecida. Nesse experimento, deve-se considerar que o sistema está totalmente em equilíbrio. A montagem está mostrada na Figura 4, abaixo.

Figura 4 – Bloco preso ao dinamômetro



Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com a Segunda Lei de Newton, tem-se que:

$$Fr = P - Fe$$

Como o sistema está em equilíbrio, Fr é igual a zero. Assim:

$$0 = P - Fe$$

$$F_e = P = m \cdot g$$

onde F_e é a força elástica exercida pelo dinamômetro. Conclui-se que a aceleração gravitacional local pode ser determinada pela equação:

$$g = \frac{F_e}{m}$$

2 PÊNULO SIMPLES

2.1 Aula 01

2.1.1 Pêndulo Simples: Conhecimentos Prévios

O assunto de Oscilações, em especial o pêndulo simples, só é estudado pelos alunos da escola pública no último semestre do 2º Ano do Ensino Médio. No entanto, a prática foi aplicada com alunos do 1º Ano, porque a ideia era testar se esses alunos, mesmo não tendo estudado o conteúdo, seriam capazes de compreender os conceitos físicos e relacionar as grandezas envolvidas no assunto estudado. Na aplicação do produto educacional, será sempre seguida a mesma sequência das outras práticas, ou seja, em primeiro lugar serão aplicadas as cinco perguntas prévias, conforme é mostrado na Tabela 3, abaixo.

Tabela 3 – Conhecimentos prévios: pêndulo simples

Questão 1	Você acha que a massa interfere no período do pêndulo?	Sim	Não
Questão 2	O tamanho do fio interfere no período do pêndulo?	Sim	Não
Questão 3	Quanto maior a massa, maior será a aceleração gravitacional?	Sim	Não
Questão 4	O tempo de oscilação varia (muda) de acordo com a massa do corpo?	Sim	Não
Questão 5	A frequência do pêndulo aumenta com a diminuição da massa?	Sim	Não

Essas perguntas são feitas de forma que o professor possa diagnosticar a turma e os conhecimentos prévios dos alunos a respeito das grandezas envolvidas no assunto estudado, que, no caso, são: período, frequência, massa pendular, comprimento do fio e aceleração gravitacional. Vale ressaltar que a prática tem como objetivo específico encontrar a aceleração gravitacional, no entanto o objetivo geral é ensinar os conceitos de Física.

2.1.2 Pêndulo Simples: Material Utilizado

Após os conhecimentos prévios, o professor irá apresentar o material utilizado na prática experimental, mostrando a finalidade e a que grandeza física está relacionado esse material, conforme a Tabela 4, abaixo.

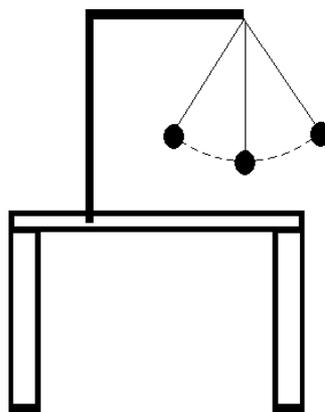
Tabela 4 – Material utilizado na prática experimental

	<p>Fio: usado para segurar a massa pendular.</p>
	<p>Massas pendulares: quantidade de matéria de um corpo.</p>
	<p>Suporte: equipamento usado para sustentar e manter em equilíbrio um sistema.</p>
	<p>Trena: aparelho usado para medir o comprimento.</p>
	<p>Cronômetro: aparelho para medir o tempo.</p>

2.1.3 Pêndulo Simples: Montagem do Experimento

Na montagem do experimento, é interessante que o professor faça um modelo para que os alunos possam observar, conforme a Figura 5, a seguir.

Figura 5 – Montagem do pêndulo simples



Fonte: elaborado pelo autor.

2.1.4 Pêndulo Simples: Procedimentos

É muito importante que o professor adote um procedimento. Caso contrário, o aluno pode se confundir ou ter dificuldades em tirar conclusões corretas. Portanto, para esta prática, foram adotados os seguintes procedimentos:

1. Amarrar um fio de 30 cm de comprimento numa massa de 50 g e depois amarrá-lo no suporte.
2. Fazer o pêndulo oscilar. Utilizar um ângulo pequeno.
3. Marcar uma posição qualquer e marcar o tempo para 10 oscilações. Fazer isso 3 vezes.
4. Mudar a massa do corpo para 100 g e repetir o procedimento anterior.
5. Responder: O fato de se ter dobrado o valor da massa, o tempo de oscilação também dobrou?
6. Amarrar um fio de 60 cm de comprimento numa massa de 50 g e depois amarrá-lo no suporte.
7. Fazer o pêndulo oscilar. Utilizar um ângulo pequeno.
8. Marcar uma posição qualquer e marcar o tempo para 10 oscilações. Fazer isso 3 vezes.
9. Mudar a massa do corpo para 100 g e repetir o procedimento anterior.
10. Responder: O fato de se ter dobrado o valor do comprimento, o tempo de oscilação também dobrou?

11. Empregando a equação abaixo, calcular o valor da aceleração gravitacional utilizando as informações dos dois casos anteriores.

$$g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot L \cdot n^2}{t^2}$$

onde **L** é o comprimento do fio; **N** é o número de oscilações; **t** é o tempo das 10 oscilações.

2.1.5 Pêndulo Simples: Exercícios de Fixação

1. Dos resultados experimentais, é possível se concluir que os períodos independem das massas? Justifique.
2. Dos resultados experimentais, é possível se concluir que os períodos independem dos comprimentos? Justifique.
3. Qual o percentual de erro encontrado na aceleração gravitacional local e o sugerido pela literatura ($g = 9,8703 \text{ m/s}^2$)?
4. Dos resultados experimentais, o que se pode concluir sobre os períodos quando a amplitude passa de 10° para 20° ? Justifique.
5. Qual o peso de uma pessoa de massa 65,00 kg no local onde foi realizada a experiência?
6. Compare o valor médio de \underline{T} obtido experimentalmente para $L = 60 \text{ cm}$ com o seu valor calculado pela equação $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$.

2.2 Aula 02

2.2.1 A Física na História

O estudo do pêndulo simples surgiu com Galileu Galilei (1564 – 1642), em 1588, quando tinha 24 anos de idade. Na época, ele frequentava a Universidade de Pisa, na Itália. Segundo a história, Galileu passou a se interessar por pêndulos quando assistia a uma missa na Catedral de Pisa, onde havia candelabros pendurados que oscilavam, porém o que lhe chamou a atenção foi o fato de que candelabros com uma

amplitude de oscilação maior pareciam levar o mesmo tempo que candelabros com menor amplitude.

Em 1602, Galileu apresentou a ideia do isocronismo de pêndulos, ou seja, o período de oscilação de um pêndulo não dependia da sua amplitude (para pequenas amplitudes) e que voltava à mesma altura de onde tinha sido largado, o que hoje se admite como conservação da energia, na época, esse conceito não era conhecido. Com isso, outros desdobramentos foram descobertos, como: pêndulos mais leves cessavam a sua oscilação mais rapidamente que os que possuíam pesos maiores e que o quadrado do período de oscilação é proporcional ao comprimento do pêndulo.

Assim, o período do pêndulo foi ganhando mais confiabilidade, de modo que passou a ser utilizado para medir a pulsação dos pacientes, por alguns médicos, e em metrônomos, por estudantes de música, pois os relógios mecânicos existentes na época, que foram desenvolvidos para substituir os relógios feitos de água, adiantavam ou atrasavam de forma imprevisível, tornando-se inadequados para fazer medições.

Em 1641, Galileu fez uma adaptação do pêndulo em relógios utilizando pesos e molas, pois acreditava que os defeitos dos relógios convencionais pudessem ser corrigidos pelo movimento periódico intrínseco aos pêndulos. Dessa forma, ele conseguiu construir, com o auxílio do seu filho Vincenzo, pois já estava completamente cego, novos relógios muito mais precisos, uma vez que o período do pêndulo depende do seu comprimento, uma variável fácil de controlar.

Quinze anos depois da morte de Galileu, em 1657, Christiaan Huygens (1629-1695) demonstrou que o pêndulo não é precisamente isócrono para grandes amplitudes de oscilação, pois o período do pêndulo simples passa a ser tanto maior quanto maior for sua amplitude de oscilação. Porém, há um consenso de que, para pequenas amplitudes, o período do pêndulo simples independe de sua amplitude, como Galileu havia descrito. Assim, neste tópico serão consideradas pequenas amplitudes.

2.2.2 As Primeiras Determinações da Aceleração Gravitacional

As tentativas de Galileu não foram satisfatórias, pois nunca obteve com precisão a aceleração da gravidade. Os valores obtidos por ele foram próximos de 4

m/s^2 . No entanto, ele sabia que a aceleração é a mesma para todos os corpos em queda livre.

Posteriormente, o padre Mersenne (1588 – 1648), depois de diversas tentativas, conseguiu achar um valor melhor que os encontrados por Galileu, medindo a aceleração gravitacional através do tempo de queda, na ordem de aproximadamente $8 m/s^2$ (Koyré, 1988).

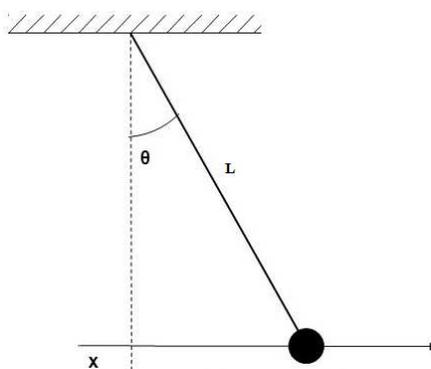
Em 1659, Huygens refez o último experimento de Mersenne, encontrando valores entre 9 e $10 m/s^2$ (Koyré, 1988). No entanto, ele sabia que, enquanto não houvesse um cronômetro confiável, não era possível medir o tempo de queda com precisão. Nesse mesmo ano, Huygens encontrou a relação entre o período do pêndulo e a aceleração gravitacional. Assim, não era mais necessário saber o tempo de queda, e, sim, a medida do período e do comprimento do pêndulo.

2.2.3 O Método de Bessel

O método de Bessel é o mais indicado para os alunos da educação básica, pois é possível obter-se a aceleração gravitacional utilizando um pêndulo simples. Isso porque a equação do pêndulo, para pequenas amplitudes, é bastante conhecida dos alunos do Ensino Médio e tem suas variáveis fáceis de serem medidas.

O experimento consiste de uma esfera de massa m presa a um fio, de massa desprezível e inextensível de comprimento L , preso a uma haste fixa, conforme Figura 6. Medem-se, então, o comprimento do fio e o período (razão entre o tempo e o número de oscilações).

Figura 6 – Pêndulo simples

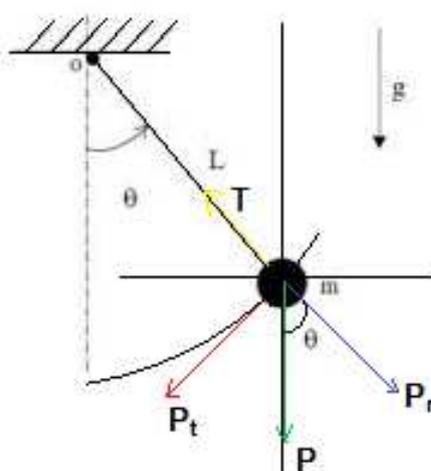


Fonte: elaborado pelo autor.

2.2.4 Demonstração da Equação da Aceleração Gravitacional em Função do Tempo e do Comprimento do Pêndulo

Considera-se que o pêndulo irá oscilar em baixa amplitude, ou seja, o comprimento do fio é muito maior que a amplitude. Assim, pode-se considerar que a oscilação do pêndulo descreve um movimento harmônico simples – MHS. Na Figura 7, a seguir, estão localizadas as forças que atuam no sistema.

Figura 7 – Pêndulo simples com aplicação das forças atuantes



Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 7, tem-se que: L é o comprimento do fio; θ é o ângulo entre L e a vertical; m é a massa da partícula; g é a aceleração gravitacional; T é a tração no fio; P é o peso da partícula; P_r é a componente do peso radial ao sistema; P_t é a componente do peso tangencial ao percurso descrito pela partícula.

Agora, fica fácil observar que as forças que atuam no sistema são: P_t , P_r e T . Nota-se que a força resultante, entre T e P_r , é a força centrípeta, que tem a mesma direção da tração T , e que a força responsável pelo movimento da partícula é a componente do peso tangencial à trajetória (P_t).

Determinando o valor do módulo das componentes P_r e P_t , tem-se que:

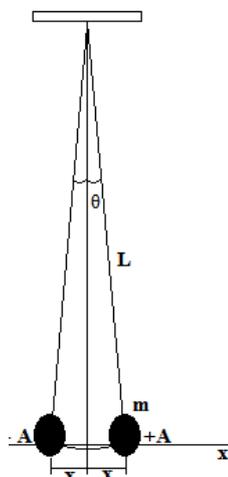
$$P_t = P \cdot \text{Sen}\theta = m \cdot g \cdot \text{Sen}\theta \quad (\text{eq. 1})$$

e

$$P_r = P \cdot \text{Cos}\theta = m \cdot g \cdot \text{Cos}\theta \quad (\text{eq. 2})$$

Como se pode observar na Figura 7, a trajetória descrita pelo pêndulo é um arco de circunferência. Porém, a amplitude será tornada muito menor que o comprimento ($A \ll L$), como mostra a Figura 8, abaixo. Isso porque quer-se que o pêndulo se comporte como um oscilador harmônico simples, como havia sido dito anteriormente. Dessa forma, a trajetória do pêndulo passa a ser considerada uma reta, e não um arco de circunferência.

Figura 8 – Pêndulo com pequena elongação



Fonte: elaborado pelo autor.

Considerando essa aproximação, pode-se escrever:

$$\text{Sen } \theta = \frac{x}{L} \quad (\text{eq. 3})$$

Substituindo a (eq.3) na (eq.1), tem-se que o módulo de \mathbf{P}_t vale:

$$P_t = \frac{mg}{L} x \quad (\text{eq.4})$$

Agora que se tem uma amplitude muito pequena e pode-se escrever o movimento do pêndulo como MHS, vale lembrar que o módulo e o sentido da força que atua sobre uma partícula são dados, genericamente, por:

$$F(x) = -K \cdot x \quad (\text{eq.5})$$

onde $F(x)$ é a força restauradora e $K = m \cdot \omega^2$.

A determinação de K pode ser expressa, de forma simplificada, pela conservação da energia mecânica, onde a energia cinética é toda transformada em energia potencial elástica. Assim, tem-se que:

$$E_c = E_{pe}$$

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

$$\frac{v^2}{x^2} = \frac{k}{m}$$

$$\left(\frac{v}{x}\right)^2 = \frac{k}{m}$$

$$\frac{v}{x} = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

onde x é o deslocamento máximo, ou seja, x é a amplitude do oscilador e $v = \omega \cdot x$. Assim, pode-se escrever:

$$\frac{\omega \cdot x}{x} = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Logo, pode-se reescrever a (eq.5) da seguinte forma:

$$F(x) = -m \cdot \omega^2 \cdot x \quad (\text{eq.6})$$

O período (T) é dado como sendo:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T}$$

Reescrevendo novamente a equação (eq.5), tem-se:

$$F(x) = -m \cdot x \cdot \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \quad (\text{eq.7})$$

Vale ressaltar que $F(x)$ é uma força restauradora e que a (eq.7) é geral para sistema MHS. Assim, considerando o movimento do pêndulo como um movimento MHS e que Pt representa a força restauradora do pêndulo, conclui-se que:

$$F(x) = Pt$$

Portanto:

$$-m \cdot x \cdot \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = -\frac{mg}{L} \cdot x$$

Foi inserido um sinal negativo em Pt , porque passou-se a considerá-la como força restauradora. Por fim, isolando g (aceleração gravitacional), deduz-se que:

$$g = \frac{4 \cdot \pi^2}{T^2} \cdot L \quad (\text{eq. 8})$$

No entanto, quer-se deixar a equação com as variáveis que serão calculadas no laboratório. Para isso, é necessário lembrar que:

$$T = \frac{1}{f}$$

Onde f é a frequência de oscilação.

$$f = \frac{n}{t}$$

Onde n é o número de oscilações, e t é o tempo gasto para as oscilações.

Assim, pode-se escrever o período da seguinte forma:

$$T = \frac{t}{n}$$

Dessa forma, pode-se reescrever a (eq. 8) num formato pronto para ser utilizada no experimento. Ficando assim:

$$g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot L \cdot n^2}{t^2} \quad (\text{eq. 9})$$

3 HIDROSTÁTICA

3.1 Aula 01

3.1.1 Hidrostática: Conhecimentos Prévios

O assunto de hidrostática aqui trabalhado tem como foco principal esclarecer ao aluno sobre as grandezas físicas envolvidas e a relação entre elas. Na aplicação do produto educacional, será sempre seguida a mesma sequência das outras práticas, ou seja, em primeiro lugar serão aplicadas as cinco perguntas prévias, conforme é mostrado na Tabela 5, abaixo.

Tabela 5 – Conhecimentos prévios: hidrostática

Questão 1	A massa de um corpo varia dependendo do líquido em que está inserido?	Sim	Não
Questão 2	O volume de líquido deslocado, após a inserção do corpo, é exatamente igual ao volume submerso do corpo?	Sim	Não
Questão 3	O líquido exerce uma força sobre o corpo que aponta para cima?	Sim	Não
Questão 4	Você acha que o tipo de líquido interfere no peso aparente do corpo?	Sim	Não
Questão 5	A aceleração gravitacional depende do tipo de líquido em que o corpo está inserido?	Sim	Não

Essas perguntas são feitas de forma que o professor possa diagnosticar a turma e os conhecimentos prévios dos alunos a respeito das grandezas envolvidas no assunto estudado, que, no caso, são: peso, massa, empuxo, volume e aceleração gravitacional. Vale ressaltar que a prática tem como objetivo específico encontrar a aceleração gravitacional, no entanto o objetivo geral é ensinar os conceitos de Física envolvidos no assunto.

3.1.2 Hidrostática: Material Utilizado

Após os conhecimentos prévios, o professor irá apresentar o material utilizado na prática experimental, mostrando a finalidade e a que grandeza física está relacionado esse material, conforme a Tabela 6, abaixo.

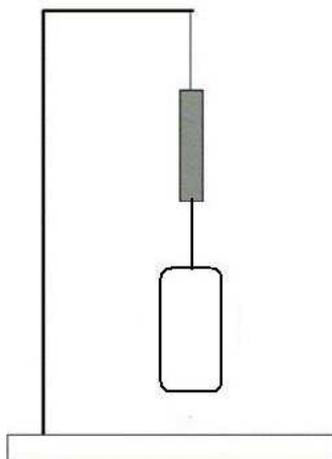
Tabela 6 – Material utilizado na prática experimental

	Sal: usado para mudar a densidade da água.
	Massas: quantidade de matéria de um corpo.
	Suporte: equipamento usado para sustentar e manter em equilíbrio um sistema.
	Dinamômetro: equipamento usado para medir a força aplicada.
	Seringa: usada para acrescentar ou retirar o líquido.
	Becker: recipiente usado para inserir o corpo e medir o deslocamento de líquido.

3.1.3 Hidrostática: Montagem do Experimento

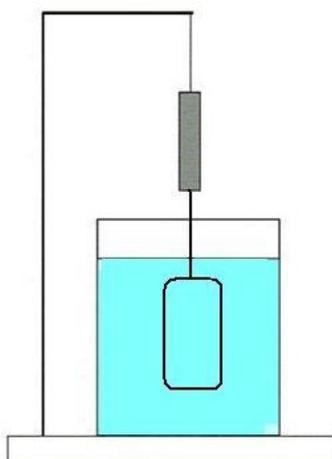
Na montagem do experimento, é interessante que o professor faça um modelo para que os alunos possam observar, conforme as Figuras 9 e 10, a seguir.

Figura 9 – Montagem com o corpo fora do líquido



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 10 – Montagem com o corpo dentro do líquido



Fonte: elaborado pelo autor.

3.1.4 Hidrostática: Procedimentos

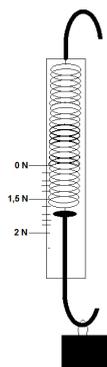
É muito importante que o professor adote um procedimento. Caso contrário, o aluno pode se confundir ou ter dificuldades em tirar conclusões corretas. Portanto, para esta prática, foram adotados os seguintes procedimentos:

1. **Verificar as escalas do dinamômetro:** para este estudo, será utilizada a escala de Newton. É importante observar a quantidade de intervalos entre um valor e outro subsequente para fazer a medição mais precisa possível.

No caso da Figura 11, entre o 1,5 N e o 2 N tem-se o registro da força elástica. Dessa forma, o valor aferido deve ser feito da seguinte maneira:

$F_e = \text{último registro marcado da escala} + c \times \Delta F_e$, onde **$c$** é o número de subdivisões.

Figura 11 – Dinamômetro



Fonte: elaborado pelo autor.

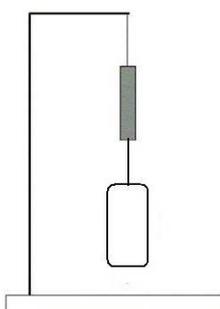
$\Delta F_e = \frac{\Delta X_e}{n}$, onde ΔX_e é o intervalo da escala do dinamômetro e n é o número de divisões do intervalo de ΔF_e . Assim, tem-se que:

$$\Delta F_e = \frac{0,5}{5} = 0,1$$

$$F_e = 1,5 \text{ N} + (2 \times 0,1) = 1,5 \text{ N} + 0,2 \text{ N} = 1,7 \text{ N}$$

2. Montar o experimento conforme a Figura 12, abaixo. Verificar o peso registrado pelo dinamômetro.

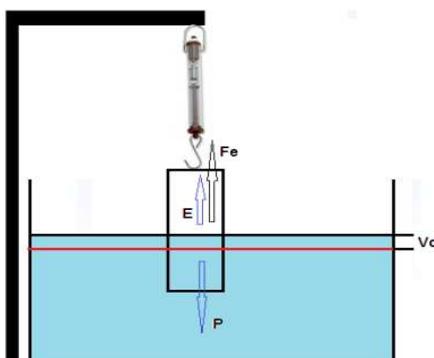
Figura 12 – Corpo suspenso



Fonte: elaborado pelo autor.

3. Inserir água no becker com água e verificar o nível dessa água.
4. Após registrar o nível de água no becker, inserir o corpo no líquido e verificar o nível de deslocamento desse líquido, após a imersão do corpo, e a força registrada pelo dinamômetro com o corpo imerso na água, como mostra a Figura 13, abaixo.

Figura 13 – Corpo preso ao dinamômetro parcialmente submerso



Fonte: elaborado pelo autor.

5. Para encontrar o valor da aceleração gravitacional local, utilizar a equação abaixo:

$$g = \frac{P - Fe}{\mu \cdot Vd}$$

6. Inserir sal na água e repetir o procedimento.
- Observação: a água salgada tem densidade de 1,03 grama por centímetro cúbico.

3.1.5 Hidrostática: Exercícios de Fixação

1. O que é um dinamômetro e como ele funciona?
2. O que é o volume deslocado?
3. O que é o peso aparente?
4. Por que o empuxo é uma força de reação?
5. Considere que um corpo de massa 200 gramas foi inserido num recipiente com água ($\mu = 1 \text{ g/cm}^3$) e que o dinamômetro marcou 0,9 N de força. Qual o valor do volume deslocado? Use $g = 10 \text{ m/s}^2$.

3.2 Aula 02

3.2.1 A Física na História

A hidrostática é um assunto muito importante dentro da Física, pois ela é responsável por estudar os líquidos e gases em repouso, sob a ação de um campo gravitacional constante. Seu estudo foi desenvolvido inicialmente por Arquimedes (287 a.C. – 212 a.C.), um grande inventor, matemático e físico.

Arquimedes nasceu na cidade portuária de Siracusa, na Sicília, uma colônia da Grécia. Adquiriu seus conhecimentos de ciências em Alexandria e tinha uma forma singular de descrever um fenômeno. Segundo Pires (2008), Aristóteles fez da estática uma ciência racional e autônoma. Introduziu na ciência o método demonstrativo clássico em que teoremas são obtidos por meio de regras e inferências, a partir de axiomas ou postulados e teoremas já demonstrados.

Segundo a literatura, conta-se que o rei Hieron pediu a um ourives para confeccionar uma coroa de ouro puro. Porém, o rei desconfiou que houvesse sido enganado, pois achava que a ela não era feita totalmente de ouro puro, mas, sim, de ouro e prata, e que parte do ouro havia sido roubado. Indignado com o fato de ter sido roubado, entregou a coroa a Arquimedes e pediu para ele verificar se ela era feita apenas de ouro.

Arquimedes não tinha ideia de como comprovar ao rei a pureza da coroa. Até que, certo dia, enquanto tomava banho na banheira, ele observou que, à medida que seu corpo mergulhava na banheira, a água transbordava, descobrindo o método para a solução do problema, pois a quantidade de água derramada correspondia ao volume do seu corpo imerso na banheira. Dessa forma, ele pegou uma mesma quantidade de massa de ouro e outra de prata e submergiu cada uma num recipiente totalmente cheio. Assim, ao mergulhar a massa de ouro e de prata, um volume de água seria derramado ou deslocado, determinando o volume ocupado por uma massa feita totalmente de ouro e outra totalmente de prata.

Por fim, Arquimedes submergiu a mesma quantidade de massa da coroa, porém feita de ouro puro, e marcou o volume deslocado. Quando ele inseriu a coroa feita pelo ourives, percebeu que o volume deslocado não era o mesmo. Fez o mesmo com a massa de prata, para saber a quantidade de líquido deslocado. Concluiu, então,

que a coroa do rei era uma mistura de ouro e prata, pois o volume deslocado dela estava entre a medida do volume deslocado do ouro e da prata.

Assim, Arquimedes descreveu que todo corpo submerso em um líquido desloca desse líquido uma quantidade determinada, cujo volume é exatamente igual ao volume do corpo submerso, e o corpo submerso no líquido “perde” de seu peso uma quantidade igual ao peso do volume de líquido igual ao volume submerso do corpo.

3.2.2 O Teorema de Arquimedes

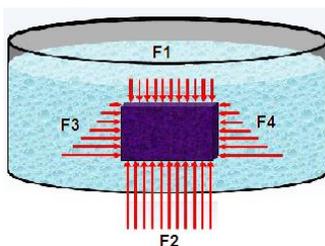
É fácil perceber que, quando se insere um corpo em um recipiente com água, tem-se a sensação de que ele fica mais leve, ou seja, o seu peso se torna menor em relação ao peso fora da água. Isso só é possível se houver uma força atuando verticalmente para cima.

Doca, Gualter & Newton (2010, p. 401) descreveram o enunciado do Teorema de Arquimedes da seguinte forma:

Quando um corpo é imerso total ou parcialmente em um fluido em equilíbrio sob a ação da gravidade, ele recebe do fluido uma força denominada empuxo. Tal força tem sempre direção vertical, sentido de baixo para cima e intensidade igual à do peso do fluido deslocado pelo corpo.

Imagina-se um líquido homogêneo de densidade μ , contido num recipiente qualquer, como mostra a Figura 14, abaixo. Considere também que o sistema está em equilíbrio sob a ação da gravidade local (g) e que há um corpo totalmente submerso e em repouso neste líquido.

Figura 14 – Recipiente com líquido e um corpo completamente imerso



Fonte: http://images.slideplayer.com.br/6/1670229/slides/slide_28.jpg.

Pode-se observar que as forças F_3 e F_4 são iguais, portanto elas se anulam. No entanto, as F_1 e F_2 são diferentes ($|F_2| > |F_1|$), pois a coluna de água que pressiona a parte superior do corpo imerso é diferente da coluna de água que pressiona a sua base. Assim, a resultante vertical é dada por:

$$Fr = F_2 - F_1$$

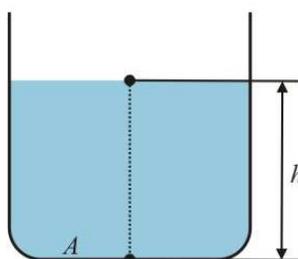
A força resultante que o líquido exerce (Fr) é vertical e para cima e é denominada de Empuxo (**E**).

$$E = F_2 - F_1 \quad (\text{eq.1})$$

3.2.3 O Teorema de Stevin

Considera-se um recipiente com um líquido homogêneo de densidade μ em equilíbrio sob a ação da gravidade (g), como mostra a Figura 15. Quer-se, então, calcular a pressão exercida pelo líquido na base do recipiente, cuja altura da coluna de líquido é h .

Figura 15 – Recipiente em equilíbrio hidrostático



Fonte: elaborado pelo autor.

Seja a pressão dada pela razão entre a força exercida e a área de aplicação dessa força, tem-se:

$$p = \frac{F}{A}$$

Como **F** é a força peso, pode-se escrever que: $F = m \cdot g$

Logo:

$$p = \frac{m \cdot g}{A}$$

Como se quer escrever em termos de densidade, pode-se reescrever a equação, considerando que:

$$m = \mu \cdot V$$

onde μ é a densidade do líquido, e V , o volume. Portanto, conclui-se que a pressão (p) entre dois pontos quaisquer, exercidos por um líquido em função da densidade (μ), altura (h), área (A) e aceleração gravitacional (g), é dada pela expressão:

$$p = \frac{\mu \cdot V \cdot g}{A} \quad (\text{eq. 2})$$

Agora, pode-se definir o empuxo (E) em função da pressão do líquido, pois:

$$p = \frac{F}{A} \rightarrow F = p \cdot A \quad (\text{eq. 3})$$

Substituindo a equação (3) em (1), tem-se:

$$E = p_2 \cdot A - p_1 \cdot A = (p_2 - p_1) \cdot A = p \cdot A$$

$$E = p \cdot A \quad (\text{eq. 4})$$

Pode-se concluir, substituindo a equação (2) em (4):

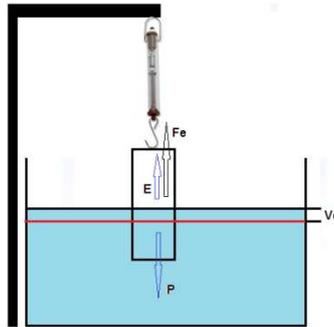
$$E = \frac{\mu \cdot V \cdot g}{A} \cdot A$$

$$E = \mu \cdot V \cdot g \quad (\text{eq. 5})$$

3.2.4 Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio do Teorema de Arquimedes

Considera-se que um corpo de massa (m) esteja parcialmente submerso num líquido homogêneo de densidade (μ) e em equilíbrio preso por um dinamômetro após ter deslocado certo volume, como mostra a Figura 16, abaixo.

Figura 16 – Equipamento montado e em equilíbrio



Fonte: elaborado pelo autor.

Olhando para a figura, tem-se que o equilíbrio das forças exercidas sobre o corpo, parcialmente imerso, é:

$$E + Fe = P \text{ (eq. 6)}$$

onde: **E** é o empuxo, **Fe** é a força elástica da mola do dinamômetro, e **P**, o peso do corpo. Dessa forma, pode-se escrever a (eq. 6) substituindo o valor de **E** da (eq. 5).

$$E + Fe = P$$

$\mu \cdot Vd \cdot g + Fe = P$, onde Vd é o volume deslocado.

Por fim, tem-se que a aceleração gravitacional poderá ser calculada pela expressão abaixo:

$$g = \frac{P - Fe}{\mu \cdot Vd}$$

4 ONDULATÓRIA

4.1 Aula 01

4.1.1 Conhecimentos Prévios

No assunto de ondulatória, o foco principal é esclarecer ao aluno as grandezas físicas envolvidas e a relação entre elas. Na aplicação do produto educacional, será sempre seguida a mesma sequência das outras práticas, ou seja, em primeiro lugar serão aplicadas as cinco perguntas prévias, conforme é mostrado na Tabela 7, abaixo.

Tabela 7 – Conhecimentos prévios: ondulatória

Questão 1	Você acha que uma onda transporta matéria?	Sim	Não
Questão 2	O número de nós aumenta com o aumento da massa do objeto suspenso?	Sim	Não
Questão 3	O número de nós aumenta com o comprimento do fio?	Sim	Não
Questão 4	Você acha que a aceleração gravitacional depende da massa?	Sim	Não
Questão 5	Você acha que a aceleração gravitacional depende do comprimento do fio?	Sim	Não

Essas perguntas são feitas de forma que o professor possa diagnosticar a turma e os conhecimentos prévios dos alunos a respeito das grandezas envolvidas no assunto estudado, que, no caso, são: peso, massa, empuxo, volume e aceleração gravitacional. Vale ressaltar que a prática tem como objetivo específico encontrar a aceleração gravitacional, no entanto o objetivo geral é ensinar os conceitos de Física envolvidos no assunto.

4.1.2 Ondulatória: Material Utilizado

Após os conhecimentos prévios, o professor irá apresentar o material utilizado na prática experimental, mostrando a finalidade e a que grandeza física está relacionado esse material, conforme a Tabela 8, a seguir.

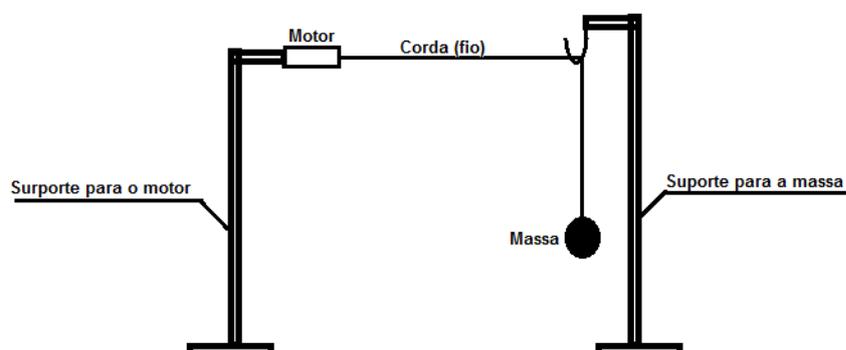
Tabela 8 – Material utilizado na prática experimental

	Motor elétrico.
	Trena para medir o comprimento da corda (fio).
	Dois suportes para sustentar o motor elétrico e a massa.
	Balança de precisão para medir a massa e a corda (fio) para calcular a densidade dessa corda.

4.1.3 Ondulatória: Montagem do Experimento

Na montagem do experimento, é interessante que o professor faça um modelo para que os alunos possam observar, conforme a Figura 17, abaixo.

Figura 17 – Montagem do experimento



Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.4 Ondulatória: Procedimentos

É muito importante que o professor adote um procedimento. Caso contrário, o aluno pode se confundir ou ter dificuldades em tirar conclusões corretas. Portanto, para esta prática, foram adotados os seguintes procedimentos:

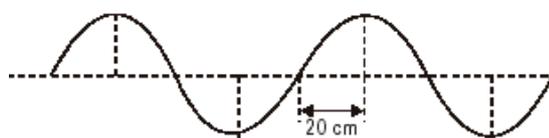
1. Fazer a medida do comprimento da corda (metros) e depois a medida da massa (quilogramas) da corda e do corpo suspenso, utilizando a balança de precisão.
2. Calcular a densidade linear da corda (razão entre a massa e o comprimento da corda).
3. Montar o experimento.
4. Ligar o motor e observar o padrão de ondas formado. Caso não seja bem definido, regular a distância de modo que seja possível formar padrões bem definidos.
5. Medir a distância da corda (L) entre o motor e o último nó.
6. Observar o número de nós.
7. Utilizar a equação abaixo para determinar a aceleração gravitacional.

Observação: A frequência do motor pode ser verificada no manual do fabricante.

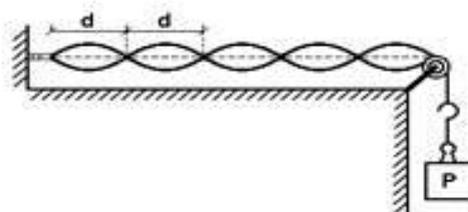
$$g = \frac{4\mu}{M} \cdot \left(\frac{L \cdot f}{n} \right)^2$$

4.1.5 Ondulatória: Exercícios de Fixação

1. Defina densidade linear.
2. Calcule a densidade de uma corda homogênea de 150 cm e massa de 20 g.
3. Qual a velocidade de uma onda cujo comprimento de onda é 30 cm e a frequência vale 440 Hz?
4. Na figura, está representada a configuração de uma onda mecânica que se propaga com velocidade de 20 m/s. A frequência da onda, em hertz, vale:



5. Uma corda tracionada por uma força de 90 N, massa de 100 g e comprimento de 1 metro possui uma velocidade de _____ m/s.
6. A figura representa uma configuração de ondas estacionárias produzidas num laboratório didático com uma fonte oscilante de frequência de 250 Hz.



- a) Sendo $d = 12$ cm a distância entre dois nós sucessivos, qual o comprimento da onda que se propaga no fio?
- b) A carga **P**, que traciona o fio ($m = 3 \times 10^{-4}$ kg), tem massa $M = 180$ g. Calcule a densidade linear do fio em kg/m.
- c) Determine a aceleração gravitacional local.

4.2 Aula 02

4.2.1 A Física na História

Neste tópico, será determinada a aceleração gravitacional por meio da ondulatória, mais precisamente pela onda produzida por uma corda tracionada. Para isso, precisa-se conhecer a fundamentação teórica necessária para que se possa chegar a uma equação que dê a aceleração gravitacional.

A primeira coisa que se precisa definir é o conceito de onda. Uma onda é qualquer perturbação de um meio que se transmite de um ponto a outro, sem que haja transporte de matéria, conforme Nussenzveig (2014).

Pode-se citar como exemplo quando uma pedra é jogada numa lagoa de águas tranquilas. Após a pedra chocar-se com a água, uma onda será produzida, de modo que um objeto flutuante na superfície da água irá mover-se para cima e para baixo. Os pontos mais altos da onda são chamados de cristas, e os pontos mais baixos são chamados de vales.

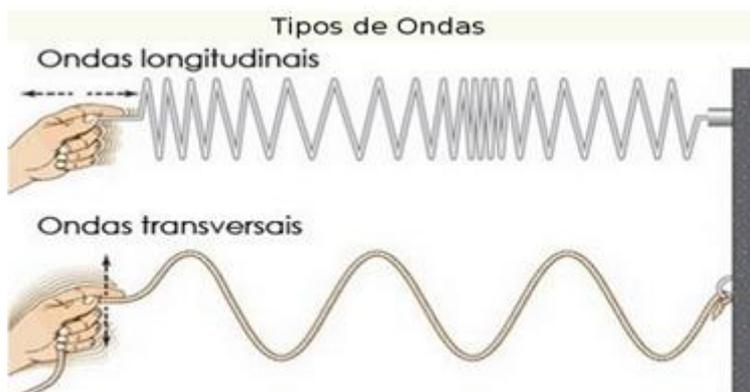
As ondas podem ser classificadas quanto à sua natureza, ou seja, elas podem ser mecânicas ou eletromagnéticas. As ondas mecânicas obrigatoriamente

necessitam de um meio para se propagar. O que não se exige das eletromagnéticas, que podem se propagar no vácuo.

A propagação das ondas pode se dar de três formas: unidimensional, bidimensional e tridimensional. Quando a onda propaga-se em uma direção, como é o caso de uma onda em cordas, diz-se que ela é unidimensional. Quando ela propaga-se em duas direções, como a onda na superfície de um lago, diz-se que ela é bidimensional. E, por fim, quando ela propaga-se em todas as direções, como é o caso de uma onda sonora, diz-se que ela é tridimensional.

Quanto à direção de vibração, elas podem ser transversais ou longitudinais. Quando uma onda propaga-se na direção perpendicular ao seu movimento, diz-se que ela é transversal. Se ela se propagar na mesma direção do seu movimento, diz-se que ela é longitudinal. A Figura 18, abaixo, ilustra exemplos de onda transversal e onda longitudinal.

Figura 18 – Exemplos de onda transversal e onda longitudinal



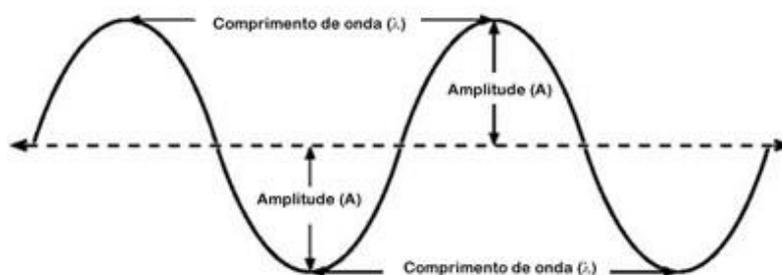
Fonte: <http://www.eav.eng.br/tech/fisica/Tiposdeondas.html>.

Todas as ondas possuem características comuns, ou seja, elas têm grandezas físicas que independem de sua natureza, tipo de vibração ou propagação. Essas grandezas físicas são: comprimento, número de onda, amplitude, frequência, período e velocidade de onda.

O comprimento de onda é o seu tamanho, ou seja, é a distância de um ciclo completo entre dois vales ou duas cristas consecutivas. O número é a quantidade de ciclos da onda registrada num determinado intervalo de tempo. A amplitude é a medida da magnitude da perturbação em um meio durante um ciclo de onda; sua medida é dada pelo máximo afastamento, durante a oscilação, em relação à posição

de equilíbrio. O período é o tempo gasto pela onda para finalizar um ciclo completo. A frequência é o número de oscilações feitas por unidade de tempo. A velocidade da onda é a distância percorrida por um ciclo completo num determinado tempo. A Figura 19, abaixo, mostra uma onda transversal.

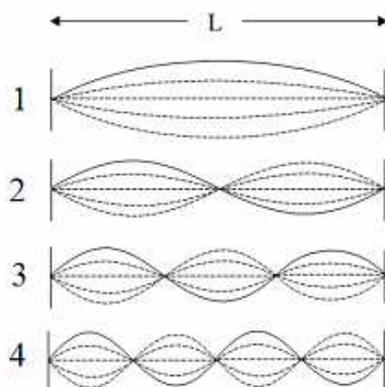
Figura 19 – Comprimento de onda e amplitude



Fonte: <http://www.explicatorium.com/cfq-8/caracteristicas-das-ondas.html>.

As ondas podem ser classificadas pelo seu tipo. Elas podem ser do tipo: estacionária ou progressiva (senoidal). As ondas estacionárias, como o próprio nome já sugere, são as que permanecem no mesmo lugar. Quando uma corda sofre uma perturbação, a onda produzida propaga-se por toda a corda, refletindo-se nas suas extremidades fixas. Dessa forma, a interferência de duas ondas iguais que se propagam em sentidos opostos produz uma onda estacionária, ou seja, uma oscilação que aparenta não se mover através do material. Os nodos resultam da interferência (destrutiva) entre a crista e o vale de duas ondas. Nos antinodos, onde o deslocamento é máximo, a interferência se dá entre duas cristas ou dois vales de onda. Cada padrão de oscilação corresponde a uma determinada frequência, que se chama um harmônico. As frequências de vibração variam com o comprimento da corda e com as suas características (material, tensão, espessura), que determinam a velocidade de propagação das ondas. A frequência mais baixa a que a corda vibra chama-se frequência fundamental.

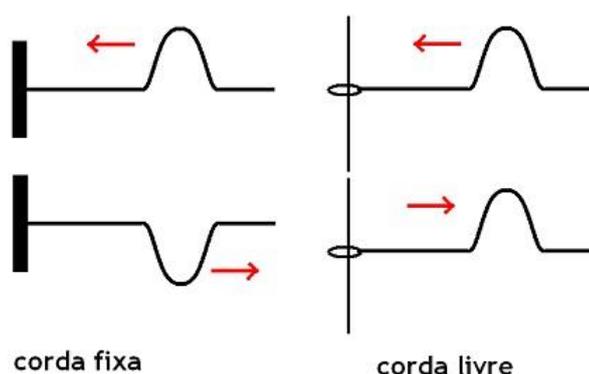
Figura 20 – Frequência fundamental e harmônicos



Fonte: <http://www.infoescola.com/fisica/harmonica/>.

Por fim, este estudo destaca as propriedades físicas comuns em situações padrões, como reflexão, refração, difração, interferência, dispersão, vibração e polarização. Dentre estas, será destacada a reflexão, em que se tem a onda voltando para o mesmo meio de onde ela surgiu. Essa reflexão pode ocorrer de duas formas: a onda pode ser refletida no mesmo sentido de propagação ou no sentido oposto à propagação.

Figura 21 – Comportamento da onda com corda fixa e livre



Fonte: elaborado pelo autor.

Quando a onda é refletida no mesmo sentido de propagação, é porque a sua extremidade é livre. No entanto, quando a extremidade é fixa, a onda propaga-se no sentido oposto à propagação original.

Portanto, para alcançar o objetivo deste estudo, que é determinar a aceleração gravitacional, será considerada uma onda mecânica, transversal, unidimensional, estacionária e tensionada.

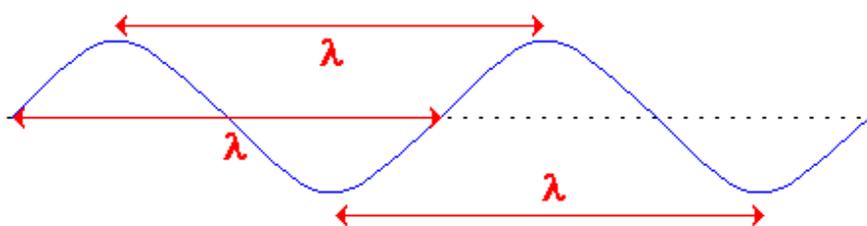
4.2.2 Velocidade de uma Onda

A velocidade de uma onda em um meio é dada pela velocidade com que o pulso dessa onda se propaga nesse meio. Assim, pode-se considerar a velocidade desse pulso como sendo a velocidade média, dada por:

$$V_m = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

onde ΔS é o espaço percorrido pelo pulso. Essa velocidade pode ser calculada usando o comprimento de onda, que é a distância percorrida por ela num tempo de um período. Pode-se encontrar a comprimento, pelo menos, de três formas, conforme a Figura 22, abaixo.

Figura 22 – Medida do comprimento de onda



Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=comprimento+de+onda>.

Assim, pode-se calcular a velocidade da onda, dada por:

$$V_m = \frac{\Delta S}{\Delta t} \rightarrow v = \frac{\lambda}{T}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

$$v = \lambda \cdot f \quad (\text{eq. 1})$$

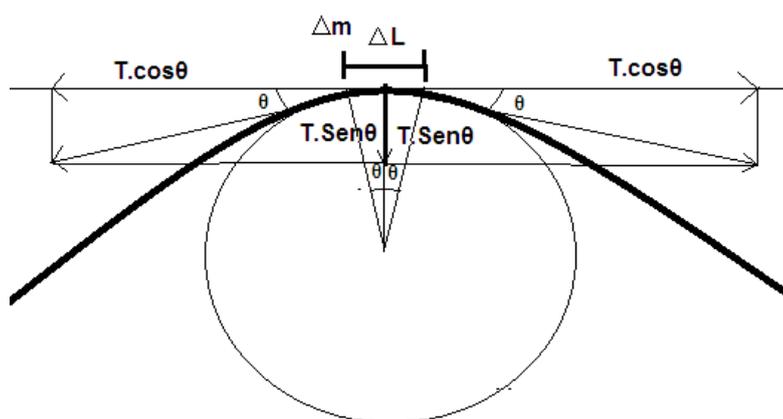
onde λ é o comprimento de onda (metros) e T é o período (segundos).

4.2.3 Fórmula de Taylor

As cordas tensionadas, ou seja, cordas esticadas, constituem ótimos meios para a observação da propagação de ondas transversais. As cordas de um violão exemplificam muito bem essa situação. Pode-se ver que, em relação à propagação de um pulso transversal ou de uma onda periódica transversal na corda, a velocidade com que uma onda periódica se propaga depende da densidade linear (μ) da corda e da intensidade da força tensora (T) a que ela está sujeita. Esse estudo, feito experimentalmente por Marin Mersenne, com cordas vibrando com baixa frequência e cordas de instrumentos sonoros, no entanto, foi utilizado matematicamente pelo britânico Brook Taylor.

Apresenta-se, agora, a fórmula de Brook Taylor de uma forma bastante simplificada, tendo em vista que o alvo maior é o aluno da educação básica. Para isso, analisa-se um pedaço muito pequeno de uma corda homogênea tensionada, cujo objeto de análise é um pulso que está se propagando. Observe a Figura 23, abaixo.

Figura 23 – Análise de um pedaço muito pequeno da corda



Fonte: elaborado pelo autor.

Fazendo a decomposição das forças que atuam na corda, observa-se que as forças horizontais ($T \cos \theta$), onde T é a tração da corda, anulam-se, pois estão na mesma direção e em sentidos contrários. No entanto, as forças verticais possuem

mesma direção e mesmo sentido, que nos dão como força resultante (Fr) a soma, ou seja:

$$Fr = 2.T.Sen\theta$$

onde θ é muito pequeno, de modo que pode-se fazer a aproximação de $Sen\theta \approx \theta$ sem prejuízo algum para a equação. Assim, pode-se escrever:

$$Fr = 2.T.\theta$$

Pode-se definir θ usando uma expressão matemática para calcular o ângulo de uma circunferência. Assim, segue:

$$2.\theta = \frac{\Delta L}{r}$$

onde ΔL é uma fração muito pequena da corda e r é o raio da circunferência formada pelo pulso de onda. Dessa forma, pode-se reescrever a equação:

$$Fr = \frac{\Delta L}{r}.T$$

Vale lembrar que a força resultante (Fr) atuando na corda, em movimento circular, é a própria força centrípeta, que é escrita:

$$Fr = Fcp = \frac{\Delta m . v^2}{r}$$

Igualando os termos definidos, tem-se:

$$\frac{\Delta L}{r}.T = \frac{\Delta m . v^2}{r}$$

$$v^2 = \frac{T}{\frac{\Delta m}{\Delta L}}$$

onde μ é a densidade linear da corda, que é dada por $\mu = \frac{\Delta m}{\Delta L}$.

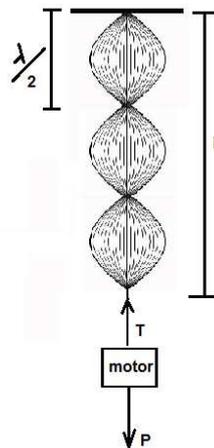
Assim, a fórmula de Taylor pode ser escrita, para uma corda tracionada, da seguinte forma:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (\text{eq. 2})$$

4.2.4 Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio de uma Corda Tensionada

Para determinar a aceleração gravitacional por meio de uma corda homogênea e tracionada, será utilizada a fórmula de Taylor. Nesse caso, será considerado um motor (vibrador) de massa M , cuja frequência é conhecida, e uma corda de massa m e comprimento L , também conhecidos, ou seja, medidos em laboratório. Será utilizado o experimento conforme a Figura 24, abaixo.

Figura 24 – Corda tensionada



Fonte: elaborado pelo autor.

Na figura acima, tem-se a fonte vibratória tensionando uma corda com seu próprio peso, e o sistema está completamente em equilíbrio, donde conclui-se que:

$$T = P$$

$$T = M \cdot g$$

Para n nós, pode-se escrever de modo geral da seguinte forma:

$$n \cdot \frac{\lambda}{2} = L \rightarrow \lambda = \frac{2L}{n} \quad (\text{eq. 3})$$

De acordo com a fórmula de Taylor, tem-se que:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

$$v^2 = \frac{M \cdot g}{\mu} \quad (\text{eq. 4})$$

Lembrando-se da (eq. 1) e substituindo na (eq. 4), tem-se que:

$$(\lambda \cdot f)^2 = \frac{M \cdot g}{\mu}$$

$$g = \frac{(\lambda \cdot f)^2 \cdot \mu}{M}$$

Substituindo λ da (eq. 3), tem-se:

$$g = \frac{(2L \cdot f)^2 \cdot \mu}{n^2 \cdot M}$$

$$g = \frac{4\mu}{M} \cdot \left(\frac{L \cdot f}{n}\right)^2$$

Dessa forma, conclui-se a equação para determinar a aceleração gravitacional local em função da densidade linear da corda (μ), a massa do motor (M), o comprimento da corda (L), o número de nós (n) e a frequência do motor (f).

5 ROLDANAS

5.1 Aula 01

5.1.1 Roldanas: Conhecimentos Prévios

O assunto de Roldanas, também conhecido como polias, faz parte da grade curricular dos alunos do 2º Ano do Ensino Médio da escola pública. Nesse assunto, são abordados os conceitos de força e energia. Na aplicação do produto educacional, será sempre seguida a mesma sequência das outras práticas, ou seja, em primeiro lugar serão aplicadas as cinco perguntas prévias, conforme é mostrado na Tabela 9, abaixo.

Tabela 9 – Conhecimentos prévios: roldanas

Questão 1	Você sabe qual(is) a(s) finalidade(s) de se usar as roldanas?	Sim	Não
Questão 2	Você acha que existe diferença entre roldana fixa e roldana móvel?	Sim	Não
Questão 3	O peso do objeto varia de acordo com a quantidade de roldanas?	Sim	Não
Questão 4	A força aplicada é sempre igual ao peso do objeto suspenso?	Sim	Não
Questão 5	A força aplicada independe do número de polias livres?	Sim	Não

Essas perguntas são feitas de forma que o professor possa diagnosticar a turma e os conhecimentos prévios dos alunos a respeito das grandezas envolvidas no assunto estudado, que, no caso, são: peso, massa, força aplicada e aceleração gravitacional. Vale ressaltar que a prática tem como objetivo específico encontrar a aceleração gravitacional, no entanto o objetivo geral é ensinar os conceitos de Física.

5.1.2 Roldanas: Material Utilizado

Após os conhecimentos prévios, o professor irá apresentar o material utilizado na prática experimental, mostrando a finalidade e a que grandeza física está relacionado esse material, conforme a Tabela 10, abaixo.

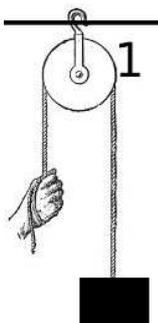
Tabela 10 – Material utilizado na prática experimental

	Fio: usado para segurar a massa.
	Massas: quantidade de matéria de um corpo.
	Suporte: equipamento usado para sustentar e manter em equilíbrio um sistema.
	Dinamômetro: equipamento usado para medir a força aplicada.
	Roldana: usada para mudar a direção e diminuir a força aplicada, dependendo do tipo de construção.

5.1.3 Roldanas: Montagem do Experimento

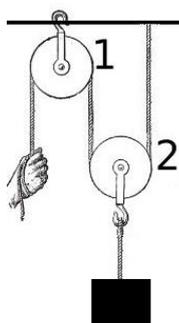
Na montagem do experimento, é interessante que o professor faça um modelo para que os alunos possam observar, conforme as figuras 25 e 26, a seguir.

Figura 25 – Montagem com uma roldana fixa



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 26 – Montagem com uma roldana fixa e uma livre



Fonte: elaborado pelo autor.

5.1.4 Roldana: Procedimentos

É muito importante que o professor adote um procedimento. Caso contrário, o aluno pode se confundir ou ter dificuldades em tirar conclusões corretas. Portanto, para esta prática, foram adotados os seguintes procedimentos:

1. Montar o experimento conforme a Figura 25 e usar um corpo de massa de 100 gramas.
2. Na força aplicada, pôr um dinamômetro.
3. Pedir aos alunos que façam o registro da força aplicada no dinamômetro.
4. Pedir aos alunos que mudem o ângulo de aplicação da força aplicada. Perguntar se houve alteração da força registrada no dinamômetro.
5. Fazer a montagem do experimento da Figura 26 e repetir os mesmos procedimentos anteriores.

6. Pedir aos alunos que construam um sistema de duas roldanas livres e registrem a força aplicada.
7. Pedir aos alunos que construam a relação existente entre as polias livres e a força aplicada.
8. Utilizando a equação abaixo, calcular o valor da aceleração gravitacional.

$$g = \frac{2^n \cdot F_{ap}}{M}$$

onde F_{ap} é a força aplicada, n é o número de polias móveis e M é a massa do objeto suspenso.

5.1.5 Roldana: Exercícios de Fixação

1. Um sistema de polias fixas presas ao teto oferece redução na força aplicada? Explique.
2. Um sistema de polias com três roldanas móveis reduz a força aplicada em quantas vezes?
3. Num sistema de roldanas móveis, a força é reduzida de acordo com a quantidade de roldanas móveis. Explique onde fica exercido o restante da força que não é aplicada pelo agente.
4. Num sistema onde há quatro polias móveis, qual a força aplicada para manter um peso de massa de 96 kg? Considere a massa das cordas e a das polias desprezíveis e a aceleração gravitacional local igual a 10 m/s².
5. Utilizando um dinamômetro e um corpo de massa 200 g, calcule o valor da aceleração gravitacional local num sistema de duas polias móveis.

5.2 Aula 02

5.2.1 A Física na História

Neste tópico, será determinada a aceleração gravitacional local utilizando os conhecimentos de roldanas (polias). Antes de fazer qualquer descrição matemática, deve-se ressaltar a importância das roldanas na vida humana.

Em busca de melhorar e facilitar as condições de trabalho e o esforço físico, o homem desenvolveu meios que pudessem tornar menor o seu desgaste muscular. Essa ideia foi criada inicialmente pelo filósofo grego Arquimedes, no século III a.C. Mais tarde, no mesmo século, Heron de Alexandria, em seu trabalho *Mecânica*, lista cinco mecanismos que podem colocar uma carga em movimento, a saber: alavanca, molinete, polia, plano inclinado e parafuso. Todos esses meios ficaram conhecidos como máquinas simples pelos renascentistas.

As máquinas simples são dispositivos que, apesar de levar esse nome, trouxeram grandes avanços para a humanidade e foi a base para o desenvolvimento de todas as outras ferramentas que surgiram posteriormente ao longo da história. Sua vantagem é a capacidade de alterar a força aplicada a um corpo, ou simplesmente mudá-la de direção e sentido. Dentre todas as máquinas simples, este trabalho irá focar na roldana, pois ela é o objeto deste estudo. Segundo Ferrer *et al* (2011), a roldana é uma roda que gira ao redor de um eixo que passa por seu centro. Na borda da roldana, existe um sulco em que se encaixa uma corda ou um cabo flexível, ou corrente. O sulco é conhecido como garganta, gola ou gorne (Figura 27).

Figura 27 – Componentes de uma roldana

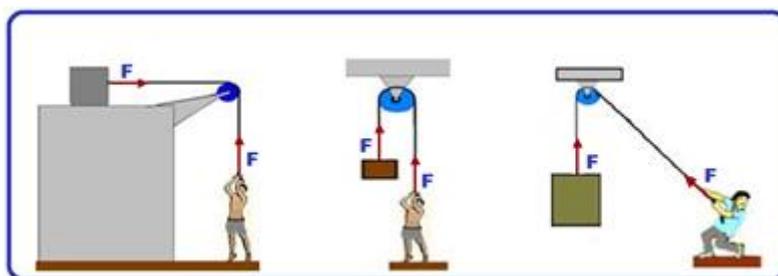


Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=polias>.

Muitas são as aplicações das polias desde os tempos mais remotos até os dias de hoje, como: retirada de água de um poço profundo; elevação de objetos pesados na construção civil; nos elevadores etc. Assim, as polias podem ser classificadas de dois tipos: fixas ou móveis.

As polias fixas são muito utilizadas quando se pretende alterar a direção e o sentido de forças transmitidas por cordas, sem alterar o módulo destas (Figura 28). Essa definição é válida para roldanas ideais, que não têm atrito e cuja massa é desprezível. A influência da massa da roldana só é importante em sistemas acelerados.

Figura 28 – Direção da força aplicada

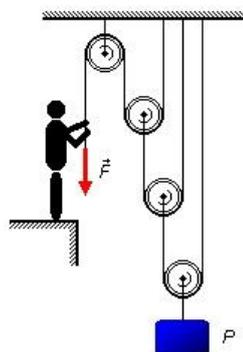


Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=polias>.

No sistema de roldanas da Figura 28, sua função como máquina simples é apenas a de inverter o sentido da força aplicada, isto é, se for aplicada uma força de cima para baixo numa das extremidades da corda, a polia transmite à carga, para levantá-la, com uma força de baixo para cima. Isso é vantajoso, porque uma pessoa pode aproveitar o próprio peso (ou um contrapeso) para cumprir a tarefa de levantar um corpo.

As polias móveis, ou roldanas móveis, são máquinas simples bastante utilizadas para diminuir a intensidade da força aplicada para sustentar um corpo de massa qualquer, ou seja, parte da força é distribuída no teto (ou suporte onde as polias estejam fixadas) sustentando todo o conjunto. Nesse tipo de sistema, normalmente há uma polia fixa e as outras são móveis (Figura 29), e a força aplicada é reduzida conforme o número de polias móveis existentes no sistema.

Figura 29 – Sistemas de roldanas livres

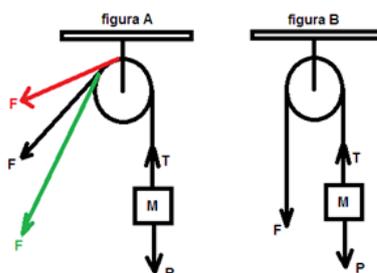


Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=polias>.

5.2.2 Força Aplicada Utilizando Polia Fixa

O sistema de polia fixa, como foi dito anteriormente, não diminui em nada a força aplicada, porém facilita a aplicação da força, pois há uma mudança de sentido e, em alguns casos, mudança de direção. A Figura 30 mostra como ficam as forças atuantes no sistema.

Figura 30 – Aplicação da força em várias e uma direção



Fonte: elaborado pelo autor.

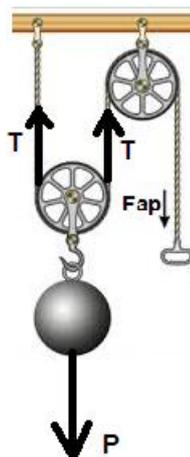
Observando a Figura 30 e considerando o sistema em equilíbrio, é possível verificar que a tração da corda é igual ao peso do corpo e que, independentemente da direção da força aplicada, o seu valor não muda. Sendo assim, pode-se escrever:

$$F = T = P = m \cdot g \quad (\text{eq. 1})$$

5.2.3 Força Aplicada Utilizando Polia Móvel

No caso de ser utilizada polia móvel, é necessário que haja uma polia fixa no sistema para que se possa ter uma mudança de direção, pois o intuito é a facilitação do esforço. A Figura 31, abaixo, mostra como ficam as forças atuantes no sistema.

Figura 31 – Aplicação das forças



Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=polias> (adaptada).

De acordo com a Figura 31 e as forças aplicadas ao sistema, percebe-se que a corda é uma só, o que garante que a força aplicada (F_{ap}) é a tração (T) do fio. No entanto, considerando que o corpo está em equilíbrio, o valor da tração pode ser calculado da seguinte forma:

$$2 \cdot T = P$$

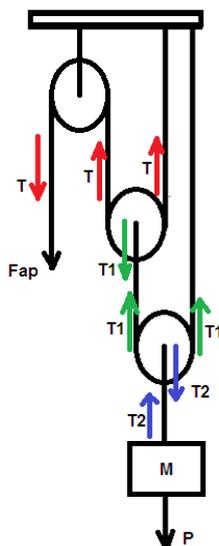
$$T = \frac{P}{2}$$

$$F_{ap} = \frac{P}{2}$$

Assim, conclui-se que, para um sistema de uma polia móvel, a força aplicada é a metade do peso do corpo.

Considera-se outro sistema com duas polias móveis para observar o valor da força aplicada ao sistema, conforme a Figura 32, a seguir.

Figura 32 – Aplicação das forças num sistema de duas polias livres



Fonte: elaborado pelo autor.

Considerando que o sistema está totalmente em equilíbrio e fazendo o somatório das forças, tem-se que:

$$T2 = P$$

$$2 \cdot T1 = T2 = P$$

$$T1 = \frac{P}{2}$$

$$2 \cdot T = T1 = \frac{P}{2}$$

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

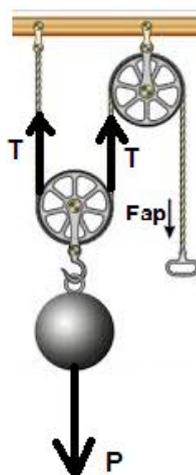
$$T = Fap = \frac{P}{2^2}$$

Assim, conclui-se que a força aplicada no sistema é quatro vezes menor que o peso do corpo. Dessa forma, pode-se deduzir que, para um sistema de n polias móveis, a força aplicada se reduz a 2^n , pois para uma polia móvel reduziu-se para 2^1 , para duas polias móveis, 2^2 .

5.2.4 Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio de Roldanas (Polias)

Agora, será descrita a equação da aceleração gravitacional local usando o sistema de polias móveis, conforme mostrado nos tópicos anteriores, com o objetivo de determinar o valor da aceleração gravitacional local. Na polia móvel, coloca-se um corpo de massa **M** e, na outra extremidade da corda, coloca-se o dinamômetro, que irá registrar a força aplicada na corda, de acordo com a Figura 33, abaixo.

Figura 33 – Sistema de uma polia móvel



Fonte: elaborado pelo autor.

$$2 \cdot T = P$$

$$F_{ap} = T = \frac{P}{2} = \frac{M \cdot g}{2}$$

Isolando **g** da equação, tem-se:

$$g = \frac{2 \cdot F_{ap}}{M}$$

Dessa forma, encontra-se a equação da aceleração gravitacional local, onde a força aplicada (**Fap**) é registrada pelo dinamômetro e a massa **M** é conhecida.

6 QUEDA LIVRE

6.1 Aula 01

6.1.1 Queda Livre: Conhecimentos Prévios

No assunto de queda livre, o foco principal é esclarecer ao aluno as grandezas físicas envolvidas e a relação entre elas. Na aplicação do produto educacional, será sempre seguida a mesma sequência das outras práticas, ou seja, em primeiro lugar serão aplicadas as cinco perguntas prévias, conforme é mostrado na Tabela 11, abaixo.

Tabela 11 – Conhecimentos prévios: queda livre

Questão 1	Imagine um local onde a resistência do ar é dispensável. Você acha que a massa de um corpo interfere na aceleração gravitacional?	Sim	Não
Questão 2	A velocidade de um corpo em queda livre é maior quanto maior for a sua massa?	Sim	Não
Questão 3	Quanto menor a massa, menor o tempo de queda desse corpo?	Sim	Não
Questão 4	Você acha que a aceleração gravitacional depende sempre da altura em que o corpo se encontra?	Sim	Não
Questão 5	A velocidade de queda de um corpo é sempre constante?	Sim	Não

Essas perguntas são feitas de forma que o professor possa diagnosticar a turma e os conhecimentos prévios dos alunos a respeito das grandezas envolvidas no assunto estudado, que, no caso, são: tempo de queda, massa, altura e aceleração gravitacional. Vale ressaltar que a prática tem como objetivo específico encontrar a aceleração gravitacional, no entanto o objetivo geral é ensinar os conceitos de Física envolvidos no assunto.

6.1.2 Queda Livre: Material Utilizado

Após os conhecimentos prévios, o professor irá apresentar o material utilizado na prática experimental, mostrando a finalidade e a que grandeza física está relacionado esse material, conforme a Tabela 12, abaixo.

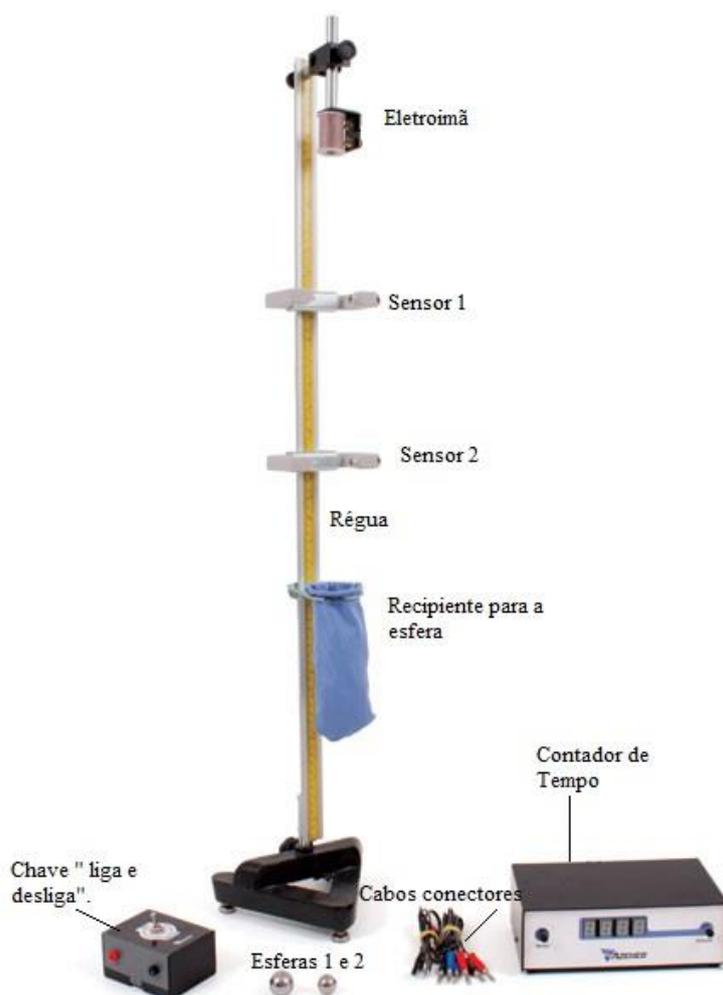
Tabela 12 – Material utilizado na prática experimental

	Chave liga e desliga.
	Cronômetro digital.
	Cabos conectores.
	Sensor.
	Esferas.
	Suporte e régua.

6.1.3 Queda Livre: Montagem do Experimento

Na montagem do experimento, é interessante que o professor faça um modelo para que os alunos possam observar, conforme a Figura 34, a seguir.

Figura 34 – Montagem do experimento de queda livre



Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgjuwAA/02-experimento-queda-livre>.

6.1.4 Queda Livre: Procedimentos

É muito importante que o professor adote um procedimento. Caso contrário, o aluno pode se confundir ou ter dificuldades em tirar conclusões corretas. Portanto, para esta prática, foram adotados os seguintes procedimentos:

1. Colocar o sensor a uma certa distância do eletroímã.
2. Selecionar o botão de velocidade instantânea.
3. Usar a esfera 1.
4. Fazer o registro da velocidade instantânea da esfera 1 e repetir o mesmo procedimento para a esfera 2 (esfera 2 diferente em massa da esfera 1).

5. Usar a equação abaixo para calcular a aceleração gravitacional das duas esferas.

$$g = \frac{V}{2h}, \text{ onde } h \text{ é a distância entre o eletroímã e o sensor.}$$

6.1.5 Queda Livre: Exercícios de Fixação

1. Um corpo é abandonado de uma altura de 80 metros. Quanto tempo levará para que esse corpo atinja o solo? Considere a aceleração gravitacional igual a 10 m/s².

2. Qual a velocidade final de um corpo de massa de 2 kg quando abandonado de uma altura de 20 metros? (Considere g = 10 m/s².)

3. Um corpo leva 3 segundos para atingir o solo. De que altura ele foi abandonado? (Considere g = 10 m/s².)

Um corpo de massa de 8 kg é abandonado num planeta **X** e leva 4 segundos para atingir o solo com velocidade de 16 m/s. Qual o valor da aceleração gravitacional desse planeta **X**?

6.2 Aula 02

6.2.1 A Física na História

A expressão “queda livre”, que é mencionada neste tópico, refere-se a um movimento vertical e para baixo, de um corpo, livre do efeito do ar ou da resistência de qualquer outra coisa que possa dificultar sua descida, ou seja, o movimento descrito é uniformemente variado e acelerado sob a ação da gravitação terrestre, de acordo com Yamamoto & Fuke (2010).

No tempo de Aristóteles, na Grécia Antiga, acreditava-se que, quanto maior fosse a massa do corpo, mais rápido ele chegaria ao solo, dando a ideia de que a massa teria influência na rapidez da queda, o que, de certa forma, faz sentido para a maioria das pessoas. No entanto, no século XVII, o italiano Galileu Galilei descobriu a lei da aceleração para qualquer corpo em movimento de queda livre. Ele apurou o

tempo de queda de corpos de massas distintas e percebeu que eles dependiam da raiz quadrada da distância percorrida e não de suas massas.

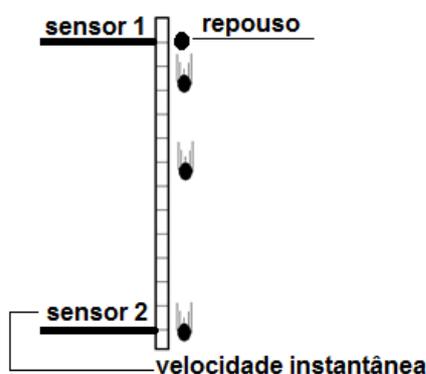
É evidente que se forem soltas uma folha de papel e uma bola de chumbo num ambiente em que exista ar, o papel irá demorar mais tempo para cair no solo. Isso porque a área de contato do papel com o ar é bem maior. Se o papel for amassado, percebe-se claramente que a resistência do ar diminui e a folha tem uma aceleração maior em relação à situação anterior, mostrando que o efeito da resistência do ar influencia consideravelmente o resultado. Essa foi a grande sacada de Galileu, pois, se retirarmos a resistência do ar (vácuo), todos os corpos caem com a mesma aceleração gravitacional, independentemente de suas massas.

Segundo algumas histórias, Galileu havia feito sua descoberta lançando objetos da Torre de Pisa, mas não há evidências históricas de que ele tenha realmente feito esse experimento nesse lugar, porém o impacto da descoberta atingiu todos os setores da sociedade, incluindo artistas, conforme Yamamoto & Fuke (2010).

6.2.2 Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio da Queda Livre pelo Princípio da Conservação da Energia Mecânica

Para se determinar a aceleração gravitacional local por meio da queda livre, é preciso desprezar a resistência do ar, pois a altura é muito pequena e a esfera possui dimensões pequenas. Será utilizada uma régua com sensores nas extremidades, conforme a Figura 35, abaixo.

Figura 35 – Corpo caindo livremente



Fonte: elaborado pelo autor.

Considerando que a partícula é abandonada ($V_0 = 0$) e chega ao solo com uma velocidade final V , utilizando o Princípio da Conservação da Energia Mecânica, tem-se:

$$E_{mi} = E_{mf}$$

$$mgh = \frac{mV^2}{2}$$

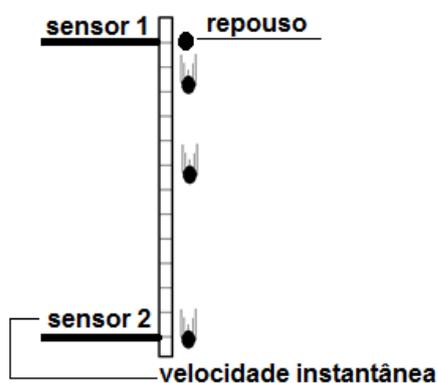
$$g = \frac{V^2}{2h}$$

onde V é a velocidade instantânea marcada pelo sensor e h é a altura do corpo em relação ao último sensor marcador da velocidade instantânea.

6.2.3 Determinação da Aceleração Gravitacional por Meio da Queda Livre pela Cinemática

Para determinar a aceleração gravitacional local utilizando os conhecimentos da cinemática do movimento uniformemente variado (MUV), será necessário o mesmo experimento do item 6.2.1, conforme a Figura 36, abaixo.

Figura 36 – Esfera em queda livre



Fonte: elaborado pelo autor.

Pode-se determinar a aceleração gravitacional utilizando as três equações do MUV. São elas:

- Função horária da velocidade: $V = V_0 + g \cdot t$
- Função horária do espaço: $h = h_0 + V_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$
- Equação de Torricelli: $V^2 = V_0^2 + g \cdot h$

Considerando que a velocidade inicial é igual a zero, pois está em repouso, a determinação da aceleração gravitacional local fica assim escrita para cada equação:

Para a função horária da velocidade:

$$g = \frac{V}{t}$$

onde **V** é a velocidade final instantânea e **t** é o tempo total.

Para a função horária do espaço:

$$g = \frac{2h}{t^2}$$

onde **h** é a altura e **t** é o tempo total para percorrer toda a altura.

Para a equação de Torricelli:

$$g = \frac{V^2}{2h}$$

onde **V** é a velocidade final instantânea e **h** é a altura do corpo.

7 REFERÊNCIAS

DOCA, R. H.; GUALTER, J. B. & NEWTON, V. B. *Física*. São Paulo: Saraiva, 2010. v.3.

FERRER, F. *et al. Determinação experimental das vantagens mecânicas das roldanas móvel e fixa*. 2011. 10 f. Trabalho Acadêmico. Engenharia de Automação Industrial, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAe9jQAC/trabalho-fisica-experimental-roldanas#>>. Acesso em: 21 jun. 2017.

KOYRÉ, A. *Estudios de historia del pensamiento científico*. México: Siglo Veintiuno, 1988.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de física básica 2: fluidos, oscilações e ondas, calor*. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2014.

PIRES, A. S. T. *Evolução das ideias da física*. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

YAMAMOTO, K. & FUKU, L. F. *Física para o Ensino Médio*. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.