



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

CARIN ROCHANE COSTA DE ARAÚJO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE EQUILÍBRIO DE
FORÇAS COMO MATERIAL DE APOIO PARA PROFESSORES E ALUNOS DO
ENSINO MÉDIO**

**FORTALEZA - CEARÁ
2026**

CARIN ROCHANE COSTA DE ARAÚJO

DESENVOLVIMENTO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE EQUILÍBRIO DE
FORÇAS COMO MATERIAL DE APOIO PARA PROFESSORES E ALUNOS DO
ENSINO MÉDIO

Dissertação apresentada ao Polo 43 do Programa de
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
da Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial para a obtenção do título de Mestre em
Ensino de Física.

Área de concentração: Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Nildo Loiola Dias

FORTALEZA - CEARÁ

2026

CARIN ROCHANE COSTA DE ARAÚJO

DESENVOLVIMENTO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE EQUILÍBRIO DE FORÇAS COMO MATERIAL DE APOIO PARA PROFESSORES E ALUNOS DO ENSINO MÉDIO

Dissertação apresentada ao Polo 43 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Ensino de Física.

Aprovada em 18/06/2026

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Carlos Alberto Santos de Almeida
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Alexandre Gonçalves Pinheiro
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ser quem Ele é na minha vida e na minha história. Aquele cuja misericórdia me alcança todos os dias, que me deu a vida, e que sempre esteve comigo, cuidando, ensinando e me permitindo chegar até aqui, conduzindo meus caminhos e tornando possível a realização deste trabalho, desse fechamento de ciclo.

Aos professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), pelos conhecimentos, orientações e contribuições acadêmicas oferecidas ao longo do curso.

Ao Prof. Dr. Nildo Loiola Dias, pelos conselhos, orientação e compreensão, fundamentais para a conclusão desta pesquisa e para o meu crescimento acadêmico e profissional.

A todo o Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará (UFC), pelo suporte institucional e pela contribuição à minha formação acadêmica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), pelo apoio concedido, essencial para a realização deste trabalho.

Aos colegas das turmas do mestrado, pelas experiências compartilhadas, pelas reflexões construídas coletivamente e pelas aprendizagens que enriqueceram este percurso formativo e por tantas vezes tornarem os desafios mais leves.

Ao meu amado esposo Ricardo, amigo e companheiro de vida, que está sempre ao meu lado ao longo dos diversos desafios enfrentados. Obrigada pelo apoio incondicional em todas as etapas desse percurso, pela compreensão, ajuda e incentivo que nunca faltaram em todo esse período, que foi desafiador por diversos motivos.

Às minhas filhas, Mariana e Melissa, presentes de Deus, que são minhas motivadoras, amigas e muitas vezes conselheiras, pela paciência, carinho e por compreenderem minhas ausências nos momentos dedicados a este estudo.

À minha mãe (in memoria) pela mulher forte e determinada que foi e por me ensinar a ser quem eu sou.

Às minhas irmãs Carla e Carine, pelo amor, apoio, inspiração e pela certeza de sermos sempre “umas pelas outras”.

À Escola de Ensino Médio em Tempo Integral Dr. César Cals, na pessoa de sua diretora, Cristina da Costa, e por todos os colegas que foram apoio e fortaleza, pela acolhida e suporte à realização desta pesquisa.

Aos alunos que participaram deste estudo, pela colaboração e envolvimento, essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

À Secretaria da Educação do Estado do Ceará (SEDUC-CE), pelo suporte institucional e pelas oportunidades de formação continuada.

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

RESUMO

Esta dissertação tem como objetivo desenvolver e analisar uma sequência didática para o ensino do conceito de equilíbrio de forças no Ensino Médio, fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e nas contribuições de Marco Antônio Moreira, articulada à proposta de sequências didáticas de Antoni Zabala. A investigação caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de abordagem qualitativa e natureza de pesquisa-ação, realizada com estudantes do Ensino Médio da Escola Estadual de Tempo Integral Dr César Cals, em Fortaleza. A sequência didática proposta foi estruturada em cinco aulas, contemplando momentos de diagnóstico dos conhecimentos prévios, problematização, desenvolvimento conceitual e avaliação, com o uso de atividades experimentais reais e virtuais e discussões mediadas. Para a coleta de dados, foram utilizados pré-teste e pós-teste, além de observações durante a aplicação. Os resultados evidenciam avanços significativos na compreensão dos conceitos de força, vetores e equilíbrio, especialmente na superação de concepções alternativas relacionadas ao senso comum. Observou-se que a integração entre atividades experimentais reais e virtuais favoreceu a aprendizagem significativa, conforme os pressupostos ausubelianos. Entretanto, persistem dificuldades em aspectos que envolvem maior formalização matemática, indicando a necessidade de estratégias complementares. Conclui-se que a sequência didática proposta constitui um recurso pedagógico eficaz, contribuindo para a melhoria do ensino de Física e para a prática docente.

Palavras-chave: ensino de física; equilíbrio de forças; aprendizagem significativa; sequência didática; ensino médio.

ABSTRACT

This research aims to develop and analyze a didactic sequence for teaching the concept of force equilibrium in high school, grounded in David Ausubel's Meaningful Learning Theory and in the contributions of Marco Antônio Moreira, articulated with Antoni Zabala's proposal of didactic sequences. The study is characterized as applied research, with a qualitative approach and an action-research nature, conducted with high school students from the full-time public school Escola Estadual de Tempo Integral Dr. César Cals. The proposed didactic sequence was structured into five lessons, including stages of prior knowledge assessment, problematization, conceptual development, and evaluation, using both real and virtual experimental activities as well as mediated discussions. Data collection was carried out through pre-tests and post-tests, in addition to observations during the implementation. The results show significant progress in students' understanding of the concepts of force, vectors, and equilibrium, especially in overcoming alternative conceptions related to common sense. It was observed that the integration of real and virtual experimental activities favored meaningful learning, in accordance with Ausubelian assumptions. However, difficulties remain in aspects involving greater mathematical formalization, indicating the need for complementary strategies. It is concluded that the proposed didactic sequence constitutes an effective pedagogical resource, contributing to the improvement of Physics teaching and teaching practice.

Keywords: physics teaching; force equilibrium; meaningful learning; didactic sequence; high school.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Soma Vetorial - Regra do Paralelogramo.....	57
Figura 2 - Soma Vetorial - Regra do Polígono.....	57
Figura 3 - Decomposição vetorial.....	59
Figura 4 - Força Peso.....	62
Figura 5 - Força Normal N.....	63
Figura 6 - Força de Atrito FAT.....	64
Figura 7 - Força de Tração T.....	64
Figura 9 – Tela do Experimento virtual utilizado.....	70
Figura 10 – Experimento de equilíbrio de forças e alunos realizando o experimento.....	71
Figura 11 - Alunos realizando o experimento virtual. Fonte: a autora.....	77
Figura 12 - Alunos realizando o experimento real.....	77
Figura 13 - Comparação entre percentual de acertos no Pré-teste e no Pós-teste.....	81
Figura 14 - Acertos percentuais das questões 1, 2 e 3.....	86
Figura 15 - Acertos percentuais das questões 4, 5 e 6.....	89
Figura 16 - Acertos percentuais das questões 7 a 10.....	91
Figura 17 - Acertos percentuais das questões 11 a 15.....	94
Figura 18 - Análise da motivação dos estudantes.....	95
Figura 19 – Análise do engajamento dos estudantes.....	96
Figura 20 – Análise da Aprendizagem percebida pelos estudantes.....	97
Figura 21 – Análise da Organização didática pelos estudantes.....	97
Figura 22 – Análise da Auto-avaliação dos estudantes.....	98

LISTAS DE TABELAS

TABELA 1 - Relação das dissertações e artigos escolhidos para este estudo.....	33
--	----

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
2.	A TEORIA DA APRENDIZAGEM - REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	Introdução.....	14
2.2	A Sequência Didática de Antoni Zabala como Arcabouço Teórico para a Prática Educativa em Física.....	15
2.3	A Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e as Contribuições de Marco Antônio Moreira: Um Pilar Epistemológico e Didático para o Ensino de Física..	21
3.	REVISÃO DA LITERATURA.....	32
3.1	O Uso do Ambiente Virtual Moodle no Ensino das Leis de Newton: Uma Abordagem para a Aprendizagem Significativa e Cooperativa.....	35
3.2	A Metodologia para o Ensino da Inércia e os Conceitos de Equilíbrio no Ensino Médio: Uma Análise da Proposta de Frederico Jordão Montijo da Silva.....	39
3.3	A Sequência Didática para o Ensino das Leis de Newton com Apoio de Aplicativo Educacional: Uma Proposta de Adeilton Nascimento da Silva.....	43
3.4	A Implementação de Laboratórios Virtuais para a Aprendizagem Potencialmente Significativa das Leis de Newton: Uma Análise da Dissertação de Jarbio da Silva Costa.....	46
3.5	O Ensino Investigativo de Vetores no Ensino Médio: A Proposta da "Roda de Vetores" por Freitas, Silva Filho e Ferreira.....	49
4.	REVISÃO DA FÍSICA.....	54
4.1	Grandezas físicas: escalares e vetoriais.....	54
4.1.1	<i>Grandezas Escalares</i>	54
4.1.2	<i>Grandezas Vetoriais</i>	55
4.2	Vetores.....	55
4.2.1	<i>Conceito, definição e utilidade</i>	55
4.2.2.1	Definição de Vetor.....	55
4.2.1.2	Para que servem os Vetores.....	56
4.2.2	<i>Operações com Vetores</i>	56
4.2.2.1	Soma Vetorial (Resultante).....	56
4.2.2.2	Decomposição Vetorial.....	57
4.2.2.3	Subtração Vetorial.....	59
4.3	Forças.....	60
4.3.1	<i>Definição e Unidade</i>	60
4.3.2	<i>Leis de Newton e Forças</i>	60
4.4.3	<i>Tipos de Forças Comuns</i>	62
4.4	Equilíbrio Translacional.....	65

4.4.1	<i>Definição e Condição.....</i>	65
4.4.2	<i>Implicações da Primeira Lei de Newton.....</i>	66
4.5	<i>Aplicações das situações de equilíbrio na vida cotidiana.....</i>	67
5.	METODOLOGIA.....	69
5.1	Natureza da pesquisa.....	69
5.2	Contexto da pesquisa.....	69
5.3	Produto educacional: Sequência Didática.....	69
5.4	Elaboração da sequência didática.....	72
5.5	Aplicação da sequência didática.....	73
5.6	Instrumentos de coleta de dados.....	79
5.7	Análise dos dados.....	79
6.	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	80
6.1	Discussão dos resultados por categoria conceitual.....	84
6.1.1	<i>Conceito de Força (Q1–Q3).....</i>	84
6.1.2	<i>Representação Vetorial (Q4–Q6).....</i>	87
6.1.3	<i>Operações com Vetores (Q7–Q10).....</i>	89
6.1.4	<i>Equilíbrio de Forças (Q11–Q15).....</i>	92
6.2	Análise Geral dos Resultados.....	95
6.3	Análise Questionário sobre a metodologia aplicada.....	95
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	101
	REFERÊNCIAS.....	104
	APÊNDICE A – PRÉ E PÓS TESTE.....	105
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO SOBRE A METODOLOGIA APLICADA.....	111

1. INTRODUÇÃO

O ensino de Física no Ensino Médio brasileiro ainda enfrenta desafios significativos, especialmente no que se refere à aprendizagem de conceitos fundamentais da Mecânica. Entre esses, o conceito de equilíbrio de forças destaca-se por sua complexidade, uma vez que exige do estudante a articulação entre diferentes conhecimentos, como vetores, forças e as Leis de Newton. Frequentemente, tais conteúdos são abordados de forma fragmentada e descontextualizada, o que contribui para a predominância de uma aprendizagem mecânica, baseada na memorização de fórmulas, em detrimento da compreensão conceitual.

Nesse contexto, observamos que muitos estudantes apresentam dificuldades em compreender que um corpo pode estar em movimento e, ainda assim, encontrar-se em equilíbrio, revelando concepções alternativas fortemente influenciadas pelo senso comum. Essas dificuldades evidenciam a necessidade de estratégias didáticas que promovam uma aprendizagem mais significativa, na qual novos conhecimentos possam ser relacionados de maneira não arbitrária aos conhecimentos prévios dos alunos.

A Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por David Ausubel e amplamente difundida por Marco Antônio Moreira no Brasil, oferece um referencial teórico consistente para compreender esse processo. Segundo essa perspectiva, a aprendizagem ocorre de forma mais efetiva quando o novo conteúdo se ancora em estruturas cognitivas previamente existentes, denominadas subsunçores. Paralelamente, a proposta de sequências didáticas de Antoni Zabala contribui ao fornecer uma organização estruturada do ensino, articulando objetivos, conteúdos, estratégias e avaliação.

Apesar da existência de diversos estudos voltados ao ensino das Leis de Newton, observamos uma lacuna na literatura no que diz respeito ao ensino do conceito de equilíbrio de forças associado à aprendizagem significativa, especialmente com a integração de atividades experimentais e simuladores. Essa lacuna justifica a relevância da presente pesquisa.

Diante disso, a pesquisa tem como objetivo desenvolver e analisar uma sequência didática para o ensino do conceito de equilíbrio de forças no Ensino Médio, fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa e estruturada segundo os princípios das sequências didáticas.

Para alcançar esse objetivo, foi elaborada e aplicada uma sequência didática composta por atividades diagnósticas, experimentais e avaliativas, utilizando recursos como simuladores virtuais e experimentos de baixo custo. A pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem qualitativa e natureza de pesquisa-ação, realizada em contexto escolar real. Espera-se que os resultados desta investigação contribuam para a melhoria do ensino de Física, oferecendo subsídios teóricos e práticos para professores, além de fortalecer a utilização de metodologias que promovam a aprendizagem significativa dos estudantes.

2. A TEORIA DA APRENDIZAGEM - REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Introdução

Os dias atuais impõem desafios crescentes ao processo de ensino-aprendizagem, exigindo, de nós, professores, a superação de modelos pedagógicos tradicionais que, frequentemente, são pautados em memorização mecânica e descontextualização do saber. Nesse cenário, a busca por referenciais teóricos e metodológicos que apresentem uma prática educativa mais eficaz e significativa torna-se imperativa. É nesse contexto que a contribuição de **Antoni Zabala Vidiella** emerge como um pilar fundamental, oferecendo uma concepção estruturada de sequências didáticas que organiza a intervenção pedagógica de forma coerente e intencional. A relevância de Zabala para esta dissertação reside na capacidade de sua proposta de sequências didáticas em fornecer um arcabouço metodológico robusto para o planejamento do ensino, permitindo a articulação de objetivos, conteúdos, estratégias e avaliação de maneira integrada e flexível.

Complementarmente, a **Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS)** de **David P. Ausubel**, amplamente difundida e adaptada no Brasil por **Marco Antônio Moreira**, principalmente no que tange o ensino de Ciências e de Física, constitui o alicerce epistemológico que fundamenta a compreensão de como o conhecimento é adquirido e retido de forma não arbitrária e substantiva. A TAS é crucial para esta pesquisa ao direcionar o olhar para a estrutura cognitiva do aprendiz, a importância do conhecimento prévio e as condições para que a aprendizagem seja genuinamente significativa, elementos essenciais para o desenvolvimento de estratégias didáticas eficazes em Física.

A proposta da estrutura didática de Zabala e os princípios da TAS, interpretados e aplicados por Moreira, é enriquecida e validada por diversos trabalhos acadêmicos, inclusive na área do Ensino de Física, dos quais escolhemos alguns para dar suporte a este trabalho. No Capítulo de Revisão de Literatura, veremos que os trabalhos escolhidos exemplificam a aplicação desses referenciais na prática, seja através do uso de tecnologias digitais, aplicativos e simuladores, seja pela implementação de metodologias ativas e investigativas para o ensino de conceitos complexos como as Leis de Newton e vetores, seja pela forma de organização intencional do planejamento. Servindo, dessa forma, a contribuição acadêmica desses autores é, portanto, de suma importância para esta dissertação, pois eles não apenas fornecem a base teórica para a compreensão dos fenômenos de aprendizagem e ensino, mas também oferecem exemplos concretos de como esses princípios podem ser transpostos para a prática pedagógica

no Ensino Médio, especialmente na área de Física. Este capítulo, ao aprofundar a contribuição de Zabala, Ausubel e Moreira, estabelece um diálogo contínuo com a TAS e com as experiências práticas desses pesquisadores, construindo um referencial teórico sólido e com várias vertentes para a proposta de intervenção pedagógica que pretendemos desenvolver.

2.2 A Sequência Didática de Antoni Zabala como Arcabouço Teórico para a Prática Educativa em Física

Os desafios atuais do processo de ensino-aprendizagem, não só no Ensino de Física, mas na Educação Básica como um todo, nos revelam a necessidade de substituir os modelos pedagógicos tradicionais, em que os alunos apenas decoram fórmulas e fazem contas matemáticas, por outros modelos que tragam mais significado para o aprendizado, e foi isso que impulsionou essa pesquisa.

Nesse contexto, a obra de Antoni Zabala Vidiella emerge como um pilar fundamental para a compreensão e o planejamento da intervenção didática, especialmente por meio de sua concepção de sequências didáticas. Esta seção visa aprofundar a contribuição de Zabala para o referencial teórico do nosso trabalho, explorando sua definição de sequência didática, a tipologia dos conteúdos de aprendizagem, as fases que a compõem e os princípios metodológicos que a sustentam.

O Contexto da Didática e a Necessidade de Sequências Didáticas

A didática, enquanto campo de estudo e prática, tem evoluído significativamente em resposta às transformações sociais, epistemológicas e tecnológicas. Historicamente, o ensino foi dominado por um paradigma transmissivo, conhecido popularmente como Educação Bancária, no qual o professor detinha o conhecimento e o aluno era um mero receptor passivo. Essa abordagem, frequentemente criticada por promover a memorização mecânica e a descontextualização do saber, revelou-se insuficiente para formar indivíduos críticos, autônomos e capazes de aplicar o conhecimento em situações reais, sem mencionar as dificuldades mais recentes relacionadas com atenção e concentração nas salas de aula.

A crise do ensino tradicional, portanto, não se manifesta apenas na baixa performance dos alunos, mas também na sua desmotivação e na dificuldade em estabelecer conexões entre o conteúdo escolar e o mundo vivido.

Diante desse cenário, enfatizamos a importância da busca por novas metodologias que priorizem a participação ativa do aluno, a construção do conhecimento e o desenvolvimento de competências diversas. E, para tanto, o planejamento e a organização do ensino tornaram-se elementos cruciais para garantir a intencionalidade pedagógica e a coerência das ações em sala de aula.

É nesse ponto que a ideia de sequência didática ganha proeminência. Longe de ser um mero plano de aula fragmentado, a sequência didática configura-se como uma unidade de planejamento mais abrangente e articulada, que permite ao professor organizar o trabalho pedagógico de forma sistemática, considerando os objetivos de aprendizagem, os conteúdos a serem abordados, as estratégias metodológicas e os processos avaliativos. Ela representa uma resposta à necessidade de estruturar o ensino de modo a promover uma aprendizagem mais profunda e significativa, superando a justaposição de atividades isoladas e sem conexão aparente para o estudante.

Antoni Zabala e a Concepção de Sequências Didáticas

Antoni Zabala Vidiella, pedagogo espanhol de renome internacional, é um dos autores mais influentes na discussão sobre a prática educativa e o planejamento didático. Sua obra "A Prática Educativa: Como Ensinar" (1998) tornou-se um referencial para educadores que buscam fundamentar suas ações pedagógicas em princípios construtivistas e sociointeracionistas. Zabala define a sequência didática como "um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos" (Zabala, 1998, p. 18). Essa definição ressalta a intencionalidade e a transparência do processo, elementos essenciais para engajar o aluno e conferir sentido à aprendizagem.

As características essenciais da sequência didática, segundo Zabala, incluem a intencionalidade pedagógica, a articulação coerente entre as atividades, a flexibilidade para se adaptar às necessidades dos alunos e do contexto, e a progressão gradual dos desafios.

Diferentemente de um plano de aula, que pode focar em uma única sessão ou atividade, a sequência didática abrange um período mais longo, permitindo o desenvolvimento de conceitos, procedimentos e atitudes de forma mais aprofundada e integrada. Ela não é uma receita rígida, mas sim um roteiro que orienta a ação do professor, oferecendo um quadro de referência para a tomada de decisões didáticas. A concepção de

Zabala, portanto, convida o professor a ser um mediador reflexivo, capaz de planejar, implementar e avaliar o ensino de forma dinâmica e adaptativa, sempre com o foco na aprendizagem do aluno.

Os Conteúdos de Aprendizagem na Perspectiva de Zabala

Um dos pilares da proposta de Zabala é sua tipologia dos conteúdos de aprendizagem, que transcende a visão tradicional que os restringe a meros fatos e conceitos. Para Zabala a aprendizagem é um processo complexo que envolve diferentes dimensões do saber, e, portanto, os conteúdos devem ser abordados de forma integrada. Ele os classifica em quatro categorias principais: factuais, conceituais, procedimentais e atitudinais.

Os **conteúdos factuais** referem-se a dados e informações específicas que devem ser memorizados, como datas, nomes, símbolos, fórmulas e classificações. No ensino de Física, exemplos incluem os valores das constantes físicas, os nomes dos cientistas, as unidades de medida ou os símbolos das grandezas. Embora sua aprendizagem ocorra predominantemente pela memorização, o autor ressalta que eles devem ser contextualizados e ter sentido para o aluno, evitando a memorização arbitrária e desprovida de significado.

Os **conteúdos conceituais**, por sua vez, são os mais complexos e abrangentes, englobando conceitos, princípios, teorias e leis. No contexto da Física, as Leis de Newton, o conceito de inércia, força, energia, campo elétrico, entre outros, são exemplos claros. A aprendizagem desses conteúdos não se dá pela simples memorização, mas pela compreensão e pela capacidade de estabelecer relações entre as novas informações e os conhecimentos prévios do aluno. Aqui, a conexão com a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel - que trataremos na próxima seção - é explícita.

A abordagem de Zabala enfatiza que o ensino de conceitos deve promover a reflexão, a análise e a capacidade de aplicar esses conceitos em diferentes situações.

Os **conteúdos procedimentais** dizem respeito ao "saber fazer", ou seja, às habilidades, técnicas, estratégias e métodos que os alunos devem desenvolver. No ensino de Física, isso inclui a capacidade de resolver problemas, realizar experimentos, interpretar gráficos, utilizar softwares de simulação, manusear equipamentos de laboratório, construir modelos ou aplicar fórmulas.

A aprendizagem procedimental ocorre por meio da prática, da repetição, da reflexão sobre a ação e da aplicação em contextos variados. A relevância desses conteúdos é

evidente em estudos que propõem o uso de aplicativos educacionais, laboratórios virtuais ou experimentos investigativos, onde o aluno é convidado a desenvolver habilidades práticas e cognitivas.

Finalmente, os conteúdos atitudinais referem-se aos valores, normas, atitudes e crenças que se espera que os alunos desenvolvam. No ensino de Física, isso pode envolver a curiosidade científica, o rigor metodológico, o respeito às ideias alheias, a colaboração em trabalhos de grupo, a persistência diante de desafios ou a consciência da importância da ciência para a sociedade. A aprendizagem atitudinal é um processo mais complexo e demorado, que se dá pela vivência, pela reflexão sobre as experiências, pela modelagem de comportamentos e pela discussão de dilemas. Zabala defende que todos esses tipos de conteúdo devem ser trabalhados de forma integrada nas sequências didáticas, pois a formação integral do aluno requer o desenvolvimento de todas as dimensões do saber: o saber (fatos e conceitos), o saber fazer (procedimentos) e o saber ser/conviver (atitudes).

As Fases ou Momentos da Sequência Didática de Zabala

A estrutura de uma sequência didática, na perspectiva de Zabala, não é linear ou rígida, mas compreende fases ou momentos que se inter-relacionam e se complementam, visando a uma progressão na aprendizagem. Esses momentos são: a fase inicial, a fase de desenvolvimento e a fase de síntese e aplicação.

A **fase inicial**, também conhecida como fase de exploração ou diagnóstico, tem como objetivo principal ativar os conhecimentos prévios dos alunos, despertar seu interesse e no nosso caso, identificar os subsunçores relevantes para o novo conteúdo. Nesse momento, o professor propõe atividades que permitam aos alunos expressar suas ideias, concepções e experiências sobre o tema a ser abordado, é uma fase de diagnóstico. Questionamentos abertos, debates, pré-testes e levantamento de hipóteses são estratégias comuns. Essa fase é crucial para que o professor possa planejar as intervenções subsequentes de forma mais eficaz, ajustando o ensino às necessidades e ao nível de compreensão dos alunos, e para que os próprios alunos percebam a relevância do novo conhecimento em relação ao que já sabem.

A **fase de desenvolvimento**, ou fase de organização e reestruturação, é o momento em que os novos conteúdos são apresentados e trabalhados de forma a promover a interação e o aprofundamento da compreensão. Aqui, o professor atua como mediador, propondo atividades que desafiam as concepções iniciais dos alunos e os levam a construir

novos significados. A exposição dialogada, a realização de experimentos (sejam eles físicos ou virtuais), o uso de tecnologias digitais, a resolução de problemas contextualizados e o trabalho cooperativo são exemplos de estratégias que podem ser empregadas. O objetivo é que os alunos, por meio da interação com o conteúdo, com os colegas e com o professor, possam reestruturar suas ideias, assimilar novos conceitos e desenvolver procedimentos e atitudes.

Por fim, a **fase de síntese e aplicação**, ou fase de consolidação e avaliação, visa a que os alunos consolidem o aprendizado, apliquem o conhecimento em novos contextos e demonstrem o que aprenderam. Atividades como a elaboração de mapas conceituais, a resolução de novos problemas que exijam a transferência do conhecimento, a realização de projetos, debates conclusivos e a aplicação de pós-testes são características dessa fase. A avaliação, nesse sentido, não é apenas somativa, mas formativa, permitindo ao professor e ao aluno verificar o grau de aprendizagem alcançado e identificar pontos que ainda necessitam de aprimoramento. Essa fase é fundamental para que o conhecimento adquirido se torne funcional e possa ser utilizado pelos alunos em diferentes situações da vida.

Princípios Metodológicos Subjacentes à Proposta de Zabala

A concepção de sequências didáticas não se limita a uma estrutura de fases e conteúdos, mas é permeada por um conjunto de princípios metodológicos que orientam a prática educativa. Esses princípios, enraizados em uma perspectiva construtivista e sociointeracionista, visam a promover uma aprendizagem mais ativa, significativa e contextualizada.

Um dos princípios centrais é a **funcionalidade da aprendizagem**, que postula que o conhecimento adquirido deve ter sentido e utilidade para o aluno. Isso significa que os conteúdos não devem ser apresentados de forma isolada, mas conectados às experiências e aos interesses dos estudantes, permitindo que percebam sua relevância para a compreensão do mundo e para a resolução de problemas reais. A contextualização dos fenômenos físicos, por exemplo, é crucial para que as Leis de Newton não sejam vistas como meras abstrações, mas como ferramentas para interpretar o cotidiano.

A atividade do aluno é outro princípio fundamental, onde o aluno deve ser o protagonista de seu próprio processo de aprendizagem, aprendendo, fazendo, explorando, questionando e construindo o conhecimento ativamente. O professor, nesse cenário, assume o

papel de mediador e facilitador, criando as condições para que a atividade do aluno seja produtiva.

A significatividade da aprendizagem, já amplamente discutida em conexão com Ausubel, como falaremos na próxima seção, é um princípio basilar. Reforça a ideia de que o novo conhecimento deve se relacionar de forma não arbitrária com a estrutura cognitiva preexistente do aluno. Isso implica em um planejamento didático que considere os conhecimentos prévios, as concepções alternativas dos estudantes, buscando construir pontes entre o saber cotidiano e o saber científico.

O princípio da globalização ou interdisciplinaridade sugere que o conhecimento não deve ser fragmentado em disciplinas isoladas, mas abordado de forma integrada, refletindo a complexidade do mundo real. Embora o ensino de Física se concentre em conceitos específicos, a sequência didática pode e deve estabelecer conexões com outras áreas do conhecimento, enriquecendo a compreensão do aluno e conferindo maior sentido ao aprendizado.

A individualização reconhece que cada aluno possui ritmos, estilos e necessidades de aprendizagem distintos. A sequência didática, embora planejada para um grupo, deve prever momentos e atividades que permitam ao professor atender às particularidades de cada estudante, oferecendo apoio individualizado e desafios adequados ao seu nível de desenvolvimento. O uso de plataformas digitais, com seus recursos adaptativos e feedback personalizado, pode ser um aliado importante nesse sentido.

Por fim, a socialização e a interação são princípios que destacam a dimensão social da aprendizagem. O autor enfatiza que o conhecimento é construído na interação com os outros – colegas, professor, comunidade. O trabalho cooperativo, os debates, as discussões em grupo e a troca de ideias são elementos essenciais para que os alunos possam confrontar suas concepções, argumentar, negociar significados e construir um conhecimento coletivo.

A contribuição de Antoni Zabala para a didática, por meio de sua concepção de sequências didáticas, oferece um referencial teórico de inestimável valor para a nossa pesquisa e a prática educativa dela subsequente. Ao definir a sequência didática como um conjunto articulado e intencional de atividades, ao categorizar os conteúdos de aprendizagem em fatuais, conceituais, procedimentais e atitudinais, ao propor fases dinâmicas de exploração, desenvolvimento e aplicação, e ao fundamentar tudo isso em princípios metodológicos como funcionalidade, atividade, significatividade, globalização, individualização e socialização, o autor fornece um modelo abrangente e flexível para o

planejamento do ensino.

A estrutura das sequências didáticas de Zabala permite não apenas organizar intervenções pedagógicas para o ensino de tópicos complexos como o Equilíbrio, as Leis de Newton e vetores, mas também analisar criticamente a interação entre os diferentes tipos de conteúdo e as estratégias metodológicas empregadas. A integração das TDIC, como ambientes virtuais, aplicativos e simuladores, e a adoção de metodologias ativas e investigativas, que são o foco de muitos trabalhos contemporâneos, alinham-se perfeitamente com a flexibilidade e a intencionalidade das sequências de Zabala.

Em última análise, a obra de Zabala reafirma que um planejamento didático coerente, que considere a complexidade da aprendizagem e a diversidade dos alunos, é essencial para promover uma educação de qualidade. Sua proposta não é uma receita, mas um convite à reflexão e à ação pedagógica fundamentada, capacitando o professor a construir ambientes de aprendizagem que realmente promovam a aprendizagem significativa e a formação integral dos estudantes.

2.3 A Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e as Contribuições de Marco Antônio Moreira: Um Pilar Epistemológico e Didático para o Ensino de Física

A incessante busca por uma educação que transcenda a mera transmissão de informações e promova a construção de um conhecimento sólido e aplicável tem sido uma das grandes preocupações da didática contemporânea. Nesse cenário, a Teoria da Aprendizagem Significativa, desenvolvida pelo psicólogo educacional David P. Ausubel, emerge como um dos referenciais teóricos mais consistentes e influentes para a compreensão dos complexos processos de aquisição, retenção e aplicação do conhecimento em contextos formais de ensino. Ausubel dedicou sua pesquisa a desvendar como os indivíduos internalizam e organizam grandes volumes de informações verbais e simbólicas, elementos intrínsecos ao ambiente escolar. Sua teoria, que se posiciona criticamente tanto em relação ao behaviorismo quanto a certas interpretações do construtivismo, oferece uma perspectiva cognitivista que valoriza a estrutura cognitiva preexistente do aprendiz e a intencionalidade do planejamento instrucional.

No contexto brasileiro, a obra de Ausubel encontrou um de seus maiores expoentes e disseminadores em Marco Antônio Moreira. Professor e pesquisador da

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Moreira não apenas traduziu e divulgou os escritos de Ausubel, mas também os aprofundou, adaptou e enriqueceu com suas próprias investigações e aplicações, tornando-se a principal referência nacional na área, especialmente no campo do ensino de Ciências e Física. Sua contribuição foi fundamental para contextualizar a teoria ausubeliana à realidade educacional brasileira, oferecendo um arcabouço teórico e prático para a melhoria das práticas pedagógicas.

Esta seção tem como propósito primordial aprofundar a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, delineando seus conceitos fundamentais, os distintos tipos de aprendizagem que a compõem e as condições essenciais para sua efetivação. Subsequentemente, serão destacadas as contribuições de Marco Antônio Moreira, que, como já dissemos, não apenas disseminou a teoria no Brasil, mas também a enriqueceu com suas adaptações e aplicações. Por fim, serão exploradas as implicações diretas dessa teoria para o ensino de Física.

O Contexto Histórico e as Fundações Epistemológicas da Teoria de Ausubel

A gênese da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel situa-se em um período de intensa efervescência na psicologia educacional do século XX. A cena era dominada pelo embate paradigmático entre o behaviorismo, que preconizava uma visão mecanicista da aprendizagem, focada em estímulo-resposta e reforço, e o emergente cognitivismo, que buscava desvendar os complexos processos mentais internos envolvidos na aquisição do conhecimento. Ausubel, com sua perspicácia crítica, posicionou-se de forma construtiva em relação a ambas as correntes. Ele criticava veementemente a aprendizagem mecânica, que se limitava à memorização arbitrária e desprovida de sentido, por considerá-la ineficaz para a formação de um conhecimento duradouro e aplicável. Ao mesmo tempo, ele ponderava sobre certas interpretações da aprendizagem por descoberta, reconhecendo seu valor para a atividade do aluno, mas alertando para sua potencial ineficiência na aquisição de grandes volumes de conhecimento em tempo limitado, característica intrínseca ao currículo escolar.

Para Ausubel, o foco central de sua investigação era a aprendizagem escolar, que ele percebia como predominantemente verbal e expositiva. Contrariando a ideia de que a instrução expositiva seria inerentemente passiva ou inferior, ele argumentava que, se cuidadosamente planejada e executada, a exposição de conteúdo pode ser um meio altamente

eficaz para promover a aprendizagem significativa. Sua teoria, portanto, não desconsidera a importância da descoberta, mas a contextualiza como um tipo específico de aprendizagem, não necessariamente superior à expositiva para todos os objetivos e contextos educacionais. A preocupação primordial de Ausubel residia na forma como o novo conhecimento se integra e interage com o conhecimento já existente na mente do aprendiz, e não tanto na modalidade inicial de sua aquisição (se por descoberta ou recepção).

A pedra angular da teoria ausubeliana reside na premissa de que a estrutura cognitiva do indivíduo constitui o fator isolado mais influente na determinação da aprendizagem. Essa ideia é magistralmente sintetizada em sua célebre afirmação: "Se eu tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diria isto: o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Averigue isso e ensine-o de acordo" (Ausubel, 2003, p.21). Essa declaração lapida não apenas encapsula a essência de sua proposta, mas também direciona a atenção do educador para a imperiosa necessidade de diagnosticar e ativar o conhecimento prévio dos alunos como ponto de partida para qualquer processo instrucional eficaz.

Conceitos Fundamentais da Aprendizagem Significativa de Ausubel

A Teoria da Aprendizagem Significativa é edificada sobre um conjunto de conceitos interligados que, em sua totalidade, elucidam o processo pelo qual o novo conhecimento é incorporado de forma substantiva à estrutura cognitiva do aprendiz.

Aprendizagem Significativa versus Aprendizagem Mecânica

Ausubel estabelece uma distinção epistemológica e didática crucial entre dois modos fundamentais de aprendizagem, que se contrapõem em suas características e resultados:

A Aprendizagem Mecânica (também referida como Rote Learning) caracteriza-se pela aquisição de novas informações de maneira arbitrária e literal. Nesse processo, a nova informação não estabelece uma interação substantiva com o conhecimento prévio do aprendiz, sendo armazenada de forma isolada na estrutura cognitiva. Consequentemente, sua retenção a longo prazo é dificultada, e sua capacidade de aplicação em novos contextos ou de transferência para outras situações torna-se limitada. Essencialmente, a aprendizagem

mecânica equivale à memorização pura e simples, desprovida de uma compreensão profunda e de atribuição de sentido.

Em contrapartida, a Aprendizagem Significativa (Meaningful Learning) ocorre quando uma nova informação se relaciona de forma não arbitrária e não literal (ou seja, de maneira substantiva) com um aspecto relevante da estrutura cognitiva do aprendiz. Isso implica que o novo conhecimento é ancorado em ideias, conceitos ou proposições já existentes e bem estabelecidas na mente do indivíduo. O resultado desse processo interativo é uma modificação recíproca: tanto a nova informação adquire significado ao ser integrada a um contexto mais amplo, quanto a estrutura cognitiva preexistente é enriquecida e reestruturada. A aprendizagem significativa, portanto, transcende a mera memorização, implicando uma profunda compreensão e uma genuína atribuição de sentido ao que está sendo aprendido, tornando o conhecimento mais estável, duradouro e funcional.

Subsunçores (Subsumers)

O conceito de subsunçores (ou ideias-âncora) representa o cerne da teoria ausubeliana. Subsunçores são ideias, conceitos ou proposições já existentes e solidamente estabelecidas na estrutura cognitiva do aprendiz, que funcionam como "ganchos" ou "âncoras" cognitivas para a nova informação. A qualidade, a clareza e a disponibilidade de subsunçores relevantes na estrutura cognitiva do indivíduo são fatores determinantes para que a aprendizagem significativa possa ocorrer.

Ausubel distingue dois tipos principais de subsunçores, que refletem diferentes níveis de interação com o novo conhecimento:

Os Subsunçores Derivativos são aqueles em que o novo material a ser aprendido constitui um exemplo ou uma especificação de um conceito mais geral já presente na estrutura cognitiva. A nova informação é, nesse caso, assimilada como um caso particular ou uma instância do subsunçor preexistente, sem alterar substancialmente sua essência.

Os Subsunçores Correlativos, por sua vez, envolvem uma interação mais profunda. O novo material representa uma extensão, uma elaboração ou uma modificação do subsunçor existente. A nova informação não é meramente um exemplo, mas adiciona novos atributos, refina o significado ou amplia o escopo do subsunçor. Este tipo de subsunção é mais complexo e resulta em uma reestruturação mais significativa e profunda da estrutura cognitiva do aprendiz.

Estrutura Cognitiva e Processo de Assimilação

A **estrutura cognitiva** pode ser concebida como o conjunto organizado e hierárquico de conhecimentos, conceitos, ideias e experiências que um indivíduo possui em um dado momento. Essa estrutura é caracterizada por uma organização hierárquica, onde conceitos mais gerais e inclusivos ocupam posições superiores, enquanto conceitos mais específicos e detalhados se situam em níveis inferiores.

A aprendizagem significativa é intrinsecamente um **processo de assimilação**, no qual a nova informação interage dinamicamente com um subsunçor relevante já presente na estrutura cognitiva. Essa interação não é unidirecional; ao contrário, tanto a nova informação quanto o subsunçor são modificados e enriquecidos no processo. O subsunçor torna-se mais diferenciado e elaborado, e a nova informação adquire significado ao ser integrada a um contexto conceitual mais amplo e coerente.

Condições para a Ocorrência da Aprendizagem Significativa

Para que a aprendizagem significativa se manifeste plenamente, Ausubel identifica três condições essenciais e interdependentes que devem ser satisfeitas:

Em primeiro lugar, o **Material Potencialmente Significativo** (ou *Significatividad Lógica*) é imperativo. Isso significa que o material a ser aprendido deve possuir uma estrutura lógica interna, sendo coerente, organizado e passível de ser relacionado de forma não arbitrária com a estrutura cognitiva humana. Sua apresentação não pode ser aleatória ou desprovida de sentido intrínseco.

Em segundo lugar, a presença de **Conhecimento Prévio Relevante** (ou *Significatividad Psicológica*) por parte do aprendiz é fundamental. O aluno deve possuir subsunçores adequados e bem estabelecidos em sua estrutura cognitiva que possam servir de âncoras para o novo conhecimento. A ausência ou a inadequação dessas ideias-âncora invariavelmente direcionará a aprendizagem para um caráter mecânico.

Por fim, a **Disposição para Aprender Significativamente** por parte do aprendiz é uma condição volitiva crucial. O aluno deve manifestar a intenção e a vontade de relacionar o novo material de forma substantiva e não arbitrária com seu conhecimento prévio. Mesmo que o material seja logicamente significativo e o aprendiz possua subsunçores relevantes, se

ele optar por uma abordagem de memorização mecânica, a aprendizagem resultante será, por definição, mecânica.

Tipos de Aprendizagem Significativa

Ausubel categoriza a aprendizagem significativa em três tipos hierárquicos e interconectados, que representam diferentes níveis de complexidade na interação entre o novo e o já conhecido:

A **Aprendizagem Representacional** constitui a forma mais elementar de aprendizagem significativa. Nela, o significado de símbolos (como palavras ou imagens) é adquirido através da associação desses símbolos aos seus referentes (objetos, eventos, conceitos) já presentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Por exemplo, aprender que a palavra "força" representa uma interação capaz de alterar o estado de movimento de um corpo.

A **Aprendizagem de Conceitos** envolve a aquisição dos significados de conceitos. Este processo pode ocorrer de duas maneiras: pela **formação de conceitos**, quando o conceito é descoberto pelo próprio aprendiz através da experiência direta e da observação de regularidades (como uma criança que aprende o conceito de "cachorro" ao interagir com diversos espécimes) ou pela **assimilação de conceitos**, que é a modalidade mais comum no ensino formal, onde o conceito é apresentado ao aprendiz e este o relaciona com subsunçores existentes em sua estrutura cognitiva (como um estudante de Física que aprende o conceito de "inércia" ao conectá-lo com suas experiências de movimento e repouso).

A **Aprendizagem Proposicional** representa a forma mais complexa de aprendizagem significativa. Nela, o significado de proposições (frases, sentenças ou relações entre conceitos) é adquirido ao serem relacionadas com subsunçores existentes. Este tipo de aprendizagem exige a compreensão de como os conceitos se interligam para formar ideias mais amplas e complexas. Um exemplo clássico seria a compreensão da proposição "a força resultante é diretamente proporcional à aceleração e inversamente proporcional à massa", que constitui a Segunda Lei de Newton.

Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integrativa

Dois princípios organizacionais da estrutura cognitiva são de suma importância para a otimização da aprendizagem significativa:

A **Diferenciação Progressiva** sugere que o planejamento instrucional deve apresentar os conceitos mais gerais e inclusivos no início do processo, para, em seguida, diferenciá-los progressivamente em termos mais específicos e detalhados. Essa estratégia facilita a formação de subsunçores robustos e promove uma organização hierárquica e coerente do conhecimento na estrutura cognitiva do aprendiz.

A **Reconciliação Integrativa** refere-se ao processo de identificar e resolver contradições ou inconsistências aparentes que possam surgir entre novos e antigos conceitos, ou entre diferentes conceitos já estabelecidos na estrutura cognitiva. Este princípio visa a promover a integração harmoniosa de ideias, resultando em uma estrutura cognitiva mais coesa, unificada e livre de conflitos.

Organizadores Prévios (Advance Organizers)

Os organizadores prévios são materiais introdutórios, apresentados antes do novo conteúdo a ser ensinado, que se caracterizam por um nível mais elevado de abstração, generalidade e inclusividade do que o próprio material de aprendizagem. Sua função primordial é atuar como uma "ponte cognitiva" entre o que o aprendiz já sabe e o que ele precisa saber para aprender significativamente o novo material. Eles ativam subsunçores relevantes e preparam a estrutura cognitiva para a assimilação da nova informação.

Ausubel distingue dois tipos de organizadores prévios, aplicáveis a diferentes cenários de aprendizagem:

Os Organizadores Expositivos são empregados quando o novo material é completamente desconhecido para o aprendiz. Eles fornecem um arcabouço conceitual geral, introduzindo conceitos mais inclusivos que servirão de subsunçores para o material subsequente.

Os Organizadores Comparativos são utilizados quando o aprendiz já possui algum conhecimento sobre o tema, mas este pode ser confuso, ambíguo ou apresentar concepções alternativas. Sua função é integrar o novo material com o conhecimento existente, destacando semelhanças e diferenças, e auxiliando na resolução de possíveis conflitos cognitivos.

As Contribuições de Marco Antônio Moreira para a Teoria da Aprendizagem Significativa no Brasil

A figura de Marco Antônio Moreira é indissociável da história da Teoria da Aprendizagem Significativa no Brasil. Ele foi o principal responsável por introduzir, traduzir, adaptar e popularizar a obra de David Ausubel no contexto educacional brasileiro. Sua vasta e prolífica produção acadêmica, que abrange livros, artigos científicos e inúmeras orientações de pesquisa, consolidou-o como a referência máxima para educadores e pesquisadores interessados na teoria, especialmente no ensino de Ciências e Matemática.

Moreira transcendeu o papel de mero divulgador. Ele aprofundou a teoria ausubeliana, explorou suas implicações práticas e a contextualizou de forma perspicaz para a realidade da educação brasileira. Dentre suas contribuições mais significativas, destacam-se:

A ênfase na **Identificação do Conhecimento Prévio**: Em consonância com Ausubel, Moreira sempre ressaltou que o ponto de partida de qualquer planejamento didático eficaz deve ser o diagnóstico preciso do que o aluno já sabe. Ele propôs e utilizou diversas ferramentas para essa identificação, como questionários, entrevistas e, de forma notável, os mapas conceituais.

A integração dos Mapas Conceituais como Ferramenta Didática e Avaliativa: Embora os mapas conceituais tenham sido desenvolvidos por Joseph Novak e D. Bob Gowin (discípulos de Ausubel), Moreira os integrou de forma orgânica à Teoria da Aprendizagem Significativa. Ele os defendeu como poderosas ferramentas para o diagnóstico (revelando a estrutura cognitiva do aprendiz e seus subsunçores), para o ensino (organizando o material didático de forma hierárquica e interligada, facilitando a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa) e para a avaliação (monitorando a evolução da aprendizagem significativa e a reestruturação da estrutura cognitiva).

A defesa da criação de Ambientes de Aprendizagem Significativa: Moreira preconizou a concepção de ambientes educacionais que favorecessem a aprendizagem significativa, caracterizados pela interação, pelo diálogo, pela problematização e pela valorização do erro como parte integrante do processo. Ele concebia o professor como um mediador ativo, cujo papel é auxiliar o aluno a construir pontes cognitivas entre o conhecimento prévio e o novo.

A exploração das Relações com Outras Teorias Cognitivas: Moreira não se furtou

a explorar as interfaces e complementaridades da Teoria da Aprendizagem Significativa com outras abordagens cognitivistas proeminentes, como as de Jean Piaget e Lev Vygotsky. Essa perspectiva integradora enriqueceu a compreensão dos processos de desenvolvimento e aprendizagem, oferecendo uma visão mais holística da cognição humana.

A preocupação **com a Pesquisa e Aplicação Prática**: A obra de Moreira é marcada por uma forte preocupação com a transposição da teoria para a prática em sala de aula. Ele não apenas teorizou, mas também conduziu e orientou inúmeras pesquisas que demonstraram a eficácia da aprendizagem significativa em diversos níveis de ensino e disciplinas, consolidando sua relevância para a formação de professores e para o desenvolvimento de materiais didáticos inovadores.

A contribuição de Moreira foi, portanto, fundamental para que a Teoria da Aprendizagem Significativa se estabelecesse como uma das abordagens mais influentes e respeitadas no Brasil, oferecendo um referencial sólido para a superação do ensino tradicional e a promoção de uma educação mais reflexiva, compreensiva e contextualizada.

Implicações para o Ensino de Física e a Integração de Tecnologias Digitais

A Teoria da Aprendizagem Significativa, com o aprofundamento e a contextualização proporcionados por Marco Antônio Moreira, possui implicações profundas e diretamente aplicáveis ao ensino de Física, uma disciplina que frequentemente lida com conceitos abstratos, muitas vezes contra-intuitivos, e que demandam uma reestruturação cognitiva substancial por parte dos alunos.

Superando Concepções Alternativas e o Senso Comum no Ensino de Física

Um dos desafios mais persistentes no ensino de Física reside na necessidade de lidar com as concepções alternativas (ou pré-concepções) que os alunos trazem para a sala de aula. Essas concepções, frequentemente baseadas no senso comum e em interpretações equivocadas de experiências cotidianas, podem se chocar diretamente com os princípios científicos. Exemplos clássicos incluem a ideia de que "força gera movimento" ou que "um corpo em movimento necessita de uma força contínua para se manter em movimento", que contradizem as Leis de Newton. A Teoria da Aprendizagem Significativa oferece um caminho metodológico robusto para abordar e superar essas concepções:

Primeiramente, é imperativo o diagnóstico dessas concepções prévias, que funcionam como subsunçores existentes, ainda que inadequados. Ferramentas como pré-testes, discussões abertas ou a elaboração de mapas conceituais, conforme demonstrado em estudos como os de Silva e Costa, são cruciais para essa identificação.

Em segundo lugar, o professor deve ser capaz de criar situações que gerem um conflito cognitivo. Isso implica confrontar as concepções alternativas dos alunos com o conhecimento científico, evidenciando suas limitações e inconsistências. Esse desequilíbrio cognitivo é um catalisador para a busca por novas compreensões.

Finalmente, por meio da reconciliação integrativa, o professor atua como mediador, auxiliando o aluno a integrar o novo conhecimento científico com o antigo. Isso pode ser alcançado através de organizadores prévios, analogias, exemplos contextualizados e atividades investigativas, que promovem a reestruturação da estrutura cognitiva e a assimilação de conceitos mais precisos e cientificamente válidos.

O Papel Estratégico dos Organizadores Prévios no Ensino de Física

No ensino de Física, os organizadores prévios se revelam ferramentas didáticas de grande poder. Antes de introduzir as Leis de Newton, por exemplo, um **organizador expositivo** pode ser uma discussão sobre a evolução histórica das ideias sobre o movimento, contrastando as visões aristotélicas e galileanas, preparando o terreno conceitual para a compreensão da síntese newtoniana. Alternativamente, um **organizador comparativo** pode ser empregado para diferenciar conceitos frequentemente confundidos, como massa e peso, ou velocidade e aceleração, que são cruciais para a compreensão da dinâmica.

A Relevância da Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integrativa na Física

A natureza complexa e hierárquica dos conceitos físicos exige uma abordagem instrucional que respeite os princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integrativa. Ao ensinar as Leis de Newton, por exemplo, o professor pode iniciar com a ideia mais geral de "interação" e "mudança de estado de movimento", para, em seguida, diferenciar progressivamente em conceitos mais específicos como "inércia", "força resultante" e "ação e reação". A reconciliação integrativa é fundamental para que os alunos percebam como essas três leis, embora distintas, se complementam e formam um sistema coerente para descrever e

prever o movimento dos corpos.

Conclusão Final

A análise aprofundada da contribuição de Antoni Zabala para a didática, em conjunto com os fundamentos da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e as inestimáveis adaptações de Marco Antônio Moreira, revela uma poderosa convergência teórica e metodológica para aprimorar o processo de ensino-aprendizagem em Física. A concepção de sequências didáticas de Zabala, com sua estrutura organizada em fases (inicial, desenvolvimento, síntese e aplicação) e sua tipologia de conteúdos (factuais, conceituais, procedimentais e atitudinais), oferece o arcabouço operacional para o planejamento de intervenções pedagógicas intencionais e coerentes. Essa estrutura didática, por sua vez, encontra seu embasamento cognitivo na TAS, que preconiza a importância do conhecimento prévio, a necessidade de materiais potencialmente significativos e a disposição do aluno para aprender de forma substantiva.

A unidade dessas ideias é manifesta na forma como os princípios metodológicos subjacentes à proposta de Zabala – funcionalidade, atividade do aluno, significatividade da aprendizagem, globalização, individualização e socialização – se alinham perfeitamente com os preceitos ausubelianos. A funcionalidade da aprendizagem, por exemplo, ressoa com a necessidade de o conhecimento ter sentido para o aluno, enquanto a atividade e a socialização se conectam à disposição para aprender e à interação na construção de subsunçores. A significatividade, como princípio metodológico de Zabala, é o próprio cerne da teoria de Ausubel e Moreira, reforçando a ideia de que o novo conhecimento deve se relacionar de forma não arbitrária com a estrutura cognitiva preexistente.

Em suma, a contribuição conjunta de Zabala, Ausubel e Moreira, aliada às experiências práticas de outros pesquisadores, forma um corpo teórico coeso e interligado. Essa unidade conceitual e metodológica proporciona um fundamento robusto para a presente dissertação, permitindo não apenas justificar a escolha de uma abordagem pedagógica específica, mas também orientar o desenvolvimento de uma intervenção que seja didaticamente estruturada, cognitivamente embasada e tecnologicamente enriquecida. É a partir dessa perspectiva integrada que buscamos promover ensino de Física que seja transformador, capacitando os alunos a construir um conhecimento sólido, coerente e aplicável, essencial para sua formação integral e para a compreensão do mundo que os cerca.

3. REVISÃO DA LITERATURA

Para embasar nossa pesquisa, a revisão de literatura foi conduzida por meio da investigação de periódicos, anais de eventos, teses e dissertações que abordam o tema desta pesquisa. Devido à escassez de trabalhos diretamente relacionados à área, também foram incluídos estudos sobre temas correlatos, conforme detalhado nas seções seguintes.

- SANTOS (2020) apresentou o desenvolvimento de uma organização pedagógica de materiais, no Ambiente Virtual de Aprendizagem Moodle, como uma ferramenta de apoio às aulas de Física, visando o ensino das Leis de Newton, fundamentado pelas teorias da aprendizagem significativa e aprendizagem cooperativa.
- SILVA (2015) propõe uma metodologia que utiliza um plano de aula para o ensino das Leis de Newton com enfoque na Primeira Lei, conhecida como lei da Inércia, e sua associação com os conceitos de equilíbrio de ponto material. O referido trabalho também faz uso de pré-teste e de uma atividade experimental com material de baixo custo.

Na revisão, encontramos muitos artigos e dissertações sobre o Ensino das Leis de Newton, dos quais escolhemos alguns que, de alguma forma, estavam relacionados com o nosso trabalho para compor essa revisão.

- SILVA (2019) desenvolveu uma sequência didática sobre Leis de Newton, tendo como produto educacional um aplicativo para plataforma Android e Windows como material didático e tem como objetivo melhorar o ensino e aprendizagem das leis do movimento no ensino médio, e foi baseada na metodologia dos três momentos pedagógicos de DELIZOICOV (2014).
- COSTA (2021) teve como objetivo geral possibilitar a alunos do 1º ano de cursos Integrados a aprendizagem potencialmente significativa da 2ª Lei de Newton, com base na Teoria de Ausubel, a partir da utilização de *softwares* educacionais/simuladores em laboratórios virtuais.

Quando nossa pesquisa voltou-se para os Vetores e o Equilíbrio (Estática), esse número cai drasticamente, o que automaticamente também reduz nossa amostra, como relacionamos a seguir.

- FREITAS, SILVA FILHO e FERREIRA (2019), em seu trabalho, introduziram o conceito de Vetores, em particular a decomposição de vetores, com o objetivo de

preparar o aluno para disciplinas que exigem aprofundamento relacionado ao tema dos vetores.

Abordando a Aprendizagem significativa, temos uma quantidade respeitável, mas quando filtramos a pesquisa para o ensino de Equilíbrio e que use os conceitos de aprendizagem significativa, não encontramos mais nenhum trabalho.

Nosso trabalho introduz o conceito de Vetores, em particular a decomposição de vetores, com o objetivo de preparar o aluno para os conceitos de Equilíbrio, que exigem aprofundamento relacionado ao tema dos vetores, partindo das ideias de Mathew Lipman e David Ausubel, sintetizadas em SILVA FILHO e FERREIRA (2018).

A partir da leitura dos estudos selecionados, elaborou-se um quadro que organiza as informações mais relevantes, contemplando aspectos metodológicos, conteúdos abordados, estratégias de ensino e principais resultados obtidos.

A Tabela 1 apresenta os trabalhos selecionados para legitimar este estudo, evidenciando suas contribuições teóricas e práticas para o aprimoramento do ensino de Física.

TABELA 1 - Relação das dissertações e artigos escolhidos para este estudo.

Dissertações/ Artigos/TCC	Tipo de sequência didática/Ações	Etapa/ Ensino	Áreas da Física
SANTOS, Cleydson Gomes dos. O uso do ambiente virtual Moodle com suporte na aprendizagem significativa e cooperativa para o ensino das Leis de Newton. 2020. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2020. https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=9940936	Sequência Didática baseada em Aprendizagem Cooperativa e Aprendizagem Significativa. e que utiliza o ambiente virtual como suporte para mediação e colaboração entre os alunos no ensino das Leis de Newton.	Ensino médio	Mecânica / cinemática
SILVA, Frederico Jordão Montijo da. Proposta de uma metodologia para o ensino	Sequência de Aulas Expositivas-Dialogada	Ensino médio	Mecânica /

da inércia no ensino médio utilizando os conceitos de equilíbrio dos corpos. 2015. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015. https://mnpef.unb.br/wp-content/uploads/2024/08/Dissertacao_FredericoJordaoMontijo-daSilva-1.pdf	s com Atividade Experimental, utiliza um plano de aula baseado em um pré-teste para identificar dificuldades e aplica atividades com materiais de baixo custo para ensinar Inércia e Equilíbrio.		cinemática
SILVA, Adeilton Nascimento da. Sequência didática para o ensino das leis de Newton com apoio de aplicativo educacional. 2019. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. https://www2.ifrn.edu.br/mnpef/_produtos/Produto_Adeilton.pdf	Sequência Didática baseada nos 3 Momentos Pedagógicos (3MP): Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento, utiliza um aplicativo educacional próprio como ferramenta principal para interatividade e engajamento.	Ensino médio	Mecânica / cinemática
COSTA, Jarbio da Silva. Implementação de laboratórios virtuais como possibilidade da aprendizagem potencialmente significativa das Leis de Newton em cursos integrados do IFMA - Campus Barra do Corda/MA. 2021. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2021. https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=11460420	Sequência Didática com foco em Laboratórios Virtuais/Simuladores, se fundamenta na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, propõe o uso de simuladores gratuitos para superar o ensino tradicional e trabalhar a 2ª Lei de Newton.	Ensino médio	Mecânica / cinemática
FREITAS, Alessandro; SILVA FILHO, Olavo Leopoldino da; FERREIRA, Marcello. Ensinando vetores para o 1º ano do ensino médio: proposta de ensino investigativo com o uso do experimento “Roda de Vetores”. Revista do Professor de Física, Brasília, v. 3, n. especial, p. 35,	Sequência de Ensino por Investigação (EI), utiliza o experimento "Roda de Vetores", integrando o pensamento crítico e a Aprendizagem		Mecânica / cinemática

2019. https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/artic le/view/25866/22722	Significativa para o ensino de vetores.		
--	---	--	--

Fonte: Elaboração própria.

A seguir, faremos o estudo de cada trabalho, separadamente.

3.1 O Uso do Ambiente Virtual Moodle no Ensino das Leis de Newton: Uma Abordagem para a Aprendizagem Significativa e Cooperativa

A crescente integração das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) no cenário educacional contemporâneo tem impulsionado novas abordagens para o processo de ensino-aprendizagem, especialmente em disciplinas que demandam uma compreensão conceitual profunda e a correlação com experiências cotidianas, como a Física. Nesse contexto, a dissertação de Cleydson Gomes dos Santos, intitulada "O USO DO AMBIENTE VIRTUAL MOODLE COM SUPORTE NA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E COOPERATIVA PARA O ENSINO DAS LEIS DE NEWTON" (2020), emerge como um estudo de relevância, explorando o potencial dos Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA) para otimizar o ensino das Leis de Newton. O autor fundamenta sua pesquisa na premissa de que as TDIC, ao promoverem o trabalho colaborativo e a mobilização de competências, podem facilitar a construção do conhecimento, alinhando-se à visão de inteligência coletiva proposta por Lévy (2003).

O cerne da investigação de Santos (2020) reside na busca por requisitos que permitam aos alunos resolverem situações-problema por meio do AVA-Moodle, com ênfase na aprendizagem significativa e cooperativa. A justificativa para tal empreendimento encontra respaldo na Base Nacional Comum Curricular (BNCC, 2017), que preconiza o uso crítico e responsável das tecnologias. O ensino de Física, reconhecido por sua complexidade e natureza multidisciplinar, beneficia-se intrinsecamente da mediação pedagógica proporcionada pelas TDIC, que, ao disponibilizarem recursos como simulações, imagens, vídeos e jogos, aproximam o conhecimento da realidade do estudante, favorecendo a ancoragem de novas informações em estruturas cognitivas preexistentes.

O objetivo geral do trabalho de Santos (2020) consistiu em propor, desenvolver e avaliar uma organização pedagógica de materiais na plataforma Moodle, pautada nos princípios da aprendizagem significativa e cooperativa, com o intuito de aprimorar o ensino das Leis de Newton. Para alcançar essa meta abrangente, o autor delineou uma série de

objetivos específicos, que incluíram a construção e organização de recursos no Moodle com base em mapas conceituais, o fomento da aprendizagem cooperativa por meio de fóruns de discussão, a familiarização com a plataforma Moodle e suas funcionalidades, a operação do AVA como suporte para professores e alunos, a implementação de uma metodologia de avaliação e a análise dos resultados obtidos com o produto educacional.

A fundamentação teórica da dissertação de Santos (2020) é robusta, ancorada em diversas correntes pedagógicas e psicológicas que sustentam a proposta de ensino em ambiente virtual. O processo de ensino e aprendizagem é concebido como um contínuo desenvolvimento das capacidades intelectuais, caracterizado pela reciprocidade entre professor e aluno (Libâneo, 1994; Silva, 2001). Santos (2020) adota a perspectiva de Ferreira (2008), que descreve a aprendizagem em cinco etapas essenciais: compreender, reter, praticar, disseminar e desenvolver. A aprendizagem, nesse sentido, não se limita à recepção passiva de informações, mas exige a participação ativa do indivíduo na interação e organização do material instrucional.

Central à proposta de Santos (2020) é a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (1982), que postula que um novo conceito adquire significado para o estudante quando se conecta a informações relevantes já presentes em sua estrutura cognitiva. Para que essa ancoragem ocorra, o material didático deve ser claro, contextualizado e compatível com o conhecimento prévio do aprendiz, que, por sua vez, deve manifestar a vontade de aprender significativamente. A estrutura cognitiva, conforme Ausubel (1982), é uma organização hierárquica e sequencial de conceitos, onde as ideias são progressivamente internalizadas. Nesse contexto, os mapas conceituais, desenvolvidos por Novak e Gowin (1984), são apresentados como ferramentas didáticas e avaliativas de grande valia. Eles permitem a representação gráfica de conceitos e suas relações, facilitando a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa, elementos cruciais para a aprendizagem significativa. Na dissertação, os mapas conceituais foram empregados tanto para organizar o conteúdo das Leis de Newton, progredindo do geral para o específico, quanto como um método de avaliação contínua da compreensão dos alunos.

Complementando a aprendizagem significativa, a dissertação explora a aprendizagem cooperativa, definida por Niquini (1997) e Tajra (2002) como um método didático-educativo centrado na interação e no apoio mútuo. Santos (2020) detalha os cinco elementos da aprendizagem cooperativa, conforme Johnson e Smith (1998): interdependência positiva, interação social, responsabilidade individual, habilidades sociais e processamento de

grupos. Esses elementos são cruciais para a construção coletiva do conhecimento, e os mapas conceituais, nesse cenário, atuam como facilitadores da negociação e colaboração entre os membros da equipe, promovendo tanto a responsabilidade individual quanto a sinergia grupal.

A aprendizagem móvel (m-learning) também é abordada como um pilar fundamental, reconhecendo a ubiquidade dos dispositivos móveis na sociedade atual. O'Malley et al. (2003) conceituam o m-learning como uma forma de ensino que oferece flexibilidade de tempo e espaço, permitindo que o processo de ensino-aprendizagem ocorra em diversos contextos (Ferreira; Oliveira; Callou, 2013). A plataforma Moodle, utilizada no estudo de Santos (2020), é destacada por sua adaptação a dispositivos móveis (Moodle Classic), o que garante que recursos como fóruns, quizzes e chats sejam acessíveis a qualquer momento e lugar, reduzindo a barreira entre o usuário e o conhecimento. O design pedagógico de aplicações computacionais, uma área multidisciplinar que integra informática, design e educação, é enfatizado como essencial para desenvolver produtos digitais que promovam a aprendizagem significativa, assegurando que a interface, o conteúdo e a metodologia estejam harmoniosamente alinhados.

Os Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA) são definidos como sistemas de gerenciamento de cursos que transmutam a sala de aula física para o ambiente online (Pereira et al., 2007; Teixeira, 2011). O Moodle, em particular, é caracterizado por Santos (2020) como uma plataforma livre e construtivista, que permite a criação de cursos online, a gestão de módulos e a realização de avaliações, oferecendo uma vasta gama de ferramentas. As cinco vertentes do Moodle – psicológica, tecnológica, pedagógica, cultural e prática – identificadas por Antonenko et al. (2004), são citadas para ilustrar como a plataforma pode fomentar uma aprendizagem construtiva e significativa, atuando como um organizador avançado que preenche lacunas cognitivas e media o acesso a novos conceitos.

O produto educacional desenvolvido por Cleydson Gomes dos Santos (2020) é um AVA no Moodle, meticulosamente estruturado para o ensino das Leis de Newton a alunos do primeiro ano do ensino médio. A organização geral do AVA é pautada em mapas conceituais, que servem como guias para cada tópico de estudo, interligando os conteúdos de forma hierárquica e coerente. Além disso, o ambiente oferece um tutorial para que os próprios alunos possam criar seus mapas conceituais, incentivando a autonomia e a organização do pensamento. Diversas atividades e recursos são empregados, incluindo pastas para compartilhamento de arquivos, glossários para organização conceitual, páginas com textos, imagens e vídeos, livros digitais para conteúdos mais extensos, e URLs para acesso a

materiais externos. Os fóruns de discussão, páginas de discussão e salas de bate-papo são ferramentas essenciais para promover a interação assíncrona e síncrona, fomentando a aprendizagem cooperativa e permitindo ao professor monitorar o progresso e as dificuldades dos alunos.

O conteúdo de Física abordado no AVA compreende as Leis de Newton e suas aplicações, detalhando os axiomas, a Lei da Inércia, a Lei Fundamental da Dinâmica e a Lei da Ação e Reação, com suas respectivas formulações e interpretações. Forças específicas, como a gravitacional (Força Peso), as interatômicas fracas (Força Normal e Força de Atrito – estático e cinético) e a Força de Tração, são exploradas com o auxílio de materiais didáticos variados, vídeos explicativos e simulações interativas. Cada conceito é introduzido de maneira a ativar os conhecimentos prévios dos alunos, utilizando recursos visuais e interativos que conectam a teoria à realidade, culminando em questionários (Quizzes) e discussões em fóruns para consolidar a aprendizagem.

As metodologias pedagógicas do produto educacional são divididas em momentos de problematização, interação e avaliação. A problematização visa despertar o interesse e a reflexão crítica dos alunos sobre as Leis de Newton, utilizando imagens, vídeos e discussões para ativar subsunçores e analisar dificuldades individuais. A interação, por sua vez, é fomentada pela dinâmica aluno-interface-professor, com aulas expositivas e atividades cooperativas que permitem a análise contínua do aprendizado. A avaliação é de caráter contínuo, considerando o desempenho nas tarefas e o comprometimento nas discussões. O feedback individualizado é ressaltado como um elemento motivador, que informa o aluno sobre seu progresso e adapta o ambiente às suas necessidades.

Santos (2020) propõe uma sequência didática de oito aulas, distribuídas em dois tempos semanais, para o primeiro ano do ensino médio, ilustrando a aplicação prática do produto. As aulas iniciais focam na orientação sobre o AVA, mapas conceituais e diagnóstico de conhecimentos prévios. As aulas subsequentes abordam a Força Peso e Normal por meio de simulações e experimentos, a Primeira Lei de Newton com atividades em grupo, e as Segunda e Terceira Leis de Newton com simuladores e quizzes. As aulas finais exploram a Força de Atrito e Tração, culminando na produção de mapas conceituais pelos alunos para avaliar a compreensão global do conteúdo.

A metodologia de avaliação do produto educacional foi rigorosa, utilizando a Metodologia de Avaliação de Software Educacional Infantil (MAQSEI) para organização e planejamento, e o método TUP (Technology, Usability and Pedagogy) como base para a

estruturação dos critérios de avaliação. O TUP analisa a qualidade do ambiente educacional sob três perspectivas: tecnológica (confiabilidade, organização, acessibilidade, disponibilidade, compatibilidade), de usabilidade (facilidade, interação, navegação, memorização, estética e áudio) e pedagógica (contexto, tarefa, ferramentas, estrutura pedagógica, motivação). A coleta de dados foi realizada por meio de questionários com escala Likert, aplicados a uma amostra de 20 alunos e 6 professores, embora o autor reconheça que a pandemia de COVID-19 limitou o número de participantes e a plenitude da avaliação.

Os resultados da avaliação, apresentados por Santos (2020), indicaram uma alta concordância entre alunos e professores quanto à confiabilidade e organização tecnológica do AVA, bem como à sua estética atraente e facilidade de uso. A linguagem utilizada, a fluidez da interação e a eficácia dos recursos visuais e hiperlinks foram amplamente elogiadas. Do ponto de vista pedagógico, o AVA foi percebido como bem organizado, com conteúdo compreensível e motivacional, e as simulações, imagens e vídeos foram consideradas ferramentas eficientes para a aprendizagem. Os fóruns, embora menos utilizados, foram reconhecidos como úteis para a construção de novos conceitos. A avaliação demonstrou que o AVA foi bem aceito como ferramenta de apoio ao ensino, com resultados promissores que sugerem sua eficácia, apesar das limitações da amostra.

Em suas considerações finais, Cleydson Gomes dos Santos (2020) conclui que o ambiente virtual de aprendizagem, com sua organização pedagógica baseada em mapas conceituais e aprendizagem cooperativa, contribui significativamente para o ensino das Leis de Newton. A pesquisa evidenciou a ativação dos conceitos prévios dos alunos e a eficácia da abordagem multimídia para relacionar os conceitos físicos com a realidade. O autor ressalta a importância de oferecer possibilidades inovadoras de aprendizagem, especialmente em contextos com carência de recursos de apoio. Como sugestões para trabalhos futuros, Santos (2020) propõe a avaliação do produto com amostras maiores, a aplicação da sequência didática em turmas presenciais a longo prazo, a utilização de outros métodos de avaliação e o desenvolvimento de AVAs para outros conteúdos da Física, além da inserção de novas ferramentas e mídias.

3.2 A Metodologia para o Ensino da Inércia e os Conceitos de Equilíbrio no Ensino Médio: Uma Análise da Proposta de Frederico Jordão Montijo da Silva

A compreensão das Leis de Newton, em particular da Primeira Lei, conhecida

como Lei da Inércia, representa um desafio significativo para estudantes do Ensino Médio. Frequentemente, os alunos chegam a essa etapa com concepções prévias arraigadas, como a associação direta entre força e movimento, e a ideia de que o repouso é o estado natural dos corpos, o que dificulta a assimilação dos princípios da Física. Diante dessa problemática, a dissertação de Frederico Jordão Montijo da Silva (2015), defendida na Universidade de Brasília, propõe uma metodologia de ensino inovadora que visa superar essas dificuldades, utilizando os conceitos de equilíbrio dos corpos como um pilar para a aprendizagem significativa da Inércia. O trabalho de Silva (2015) destaca a necessidade de os professores buscarem novas abordagens e aprimorarem suas metodologias, conforme as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+ Ensino Médio), que enfatizam a reflexão contínua e o diálogo na prática pedagógica.

A pesquisa de Silva (2015) foi motivada pela percepção de que os estudantes do Ensino Médio frequentemente memorizam as Leis de Newton sem, contudo, serem capazes de aplicá-las em diferentes contextos ou de desvincular suas compreensões do senso comum. Nesse sentido, o autor estabeleceu como objetivo geral propor uma metodologia que promovesse maior eficiência na aprendizagem da Primeira Lei de Newton, capacitando os estudantes a utilizá-la em diversas situações-problema. Para tanto, foram delineados objetivos específicos, como identificar, por meio de um pré-teste, os conhecimentos prévios dos estudantes sobre as Leis de Newton e o equilíbrio dos corpos; utilizar essas informações na elaboração de um plano de aula que promovesse a transição do pensamento do senso comum para o cientificamente correto, com base nas teorias cognitivas de David Ausubel; e, por fim, obter indícios da eficácia da metodologia na aprendizagem significativa das Leis de Newton, com destaque para a Inércia. A hipótese central que norteou o estudo foi a de que um planejamento didático elaborado a partir dos conhecimentos prévios dos estudantes facilita o processo de ensino-aprendizagem, elevando sua eficácia.

O referencial teórico que sustenta a proposta metodológica de Silva (2015) é a Teoria da Aprendizagem Significativa de David P. Ausubel. Essa teoria, inserida na filosofia cognitivista, prioriza os processos mentais envolvidos na aquisição e retenção de conhecimentos, enfatizando a atribuição de significados, a compreensão e a transformação da informação (Moreira, 1999). Ausubel (2000) distingue a aprendizagem significativa da mecânica, sendo a primeira caracterizada pela ancoragem de novos conceitos em ideias preexistentes na estrutura cognitiva do indivíduo, de forma não arbitrária e lógica. Para que isso ocorra, é fundamental que o material de aprendizagem seja potencialmente significativo e

que o aprendiz possua subsunçores relevantes e a disposição para aprender. Os subsunçores são definidos como conceitos ou ideias já estabelecidas na estrutura cognitiva que servem de "âncora" para a nova informação. A assimilação, processo central na teoria de Ausubel, descreve a interação entre a nova ideia e o subsunçor, resultando na modificação de ambos e na formação de um novo subsunçor mais elaborado. A aprendizagem mecânica, por outro lado, envolve a memorização arbitrária de informações, sem conexão com o conhecimento prévio, o que limita a capacidade do estudante de aplicar o conhecimento em novas situações. Silva (2015) argumenta que a Física, por exigir um alto nível de abstração, frequentemente resulta em aprendizagem mecânica, e que a identificação e o trabalho com os subsunçores dos alunos são cruciais para promover uma aprendizagem mais profunda e duradoura.

A metodologia da pesquisa de Silva (2015) adotou um delineamento de grupo experimental único, com a aplicação de pré-teste e pós-teste idênticos para mensurar quantitativamente o conhecimento adquirido e as mudanças na estrutura cognitiva dos estudantes. O estudo foi realizado com duas turmas de primeiro ano do Ensino Médio Integrado em Eletromecânica (EMI) do Instituto Federal de Brasília (IFB) – Campus Taguatinga, com alunos de aproximadamente 14 anos. A escolha do pré-teste foi estratégica para identificar os conhecimentos prévios dos estudantes e adaptar a sequência didática, evitando questões que promovessem a aprendizagem mecânica e focando em situações-problema que exigissem uma relação mais complexa dos conceitos. Além disso, foi elaborado um roteiro de laboratório para uma atividade experimental sobre a Inércia, baseada no "disco flutuante" de Pimentel (1995), visando aprimorar o entendimento dos alunos.

A intervenção pedagógica consistiu em uma sequência de nove aulas, detalhadamente planejadas e aplicadas pelo professor-pesquisador. A Aula 01 foi dedicada à aplicação do pré-teste. Na Aula 02, a Inércia foi introduzida por meio de experimentos demonstrativos e mentais, como a diminuição gradativa da resistência ao movimento e o experimento do plano inclinado de Galileu, culminando na definição formal de Inércia. A Aula 03 abordou a Segunda Lei de Newton, relacionando força e aceleração, e introduzindo a massa como medida da inércia. A Terceira Lei de Newton, com foco nas forças de ação e reação e na definição de vetor, foi o tema da Aula 04. A Aula 05 foi a atividade experimental sobre a Inércia, utilizando o disco flutuante. A Aula 06 revisitou o conceito de Força Resultante, com exercícios práticos. A Aula 07 foi destinada à entrega e correção dos roteiros da atividade experimental, permitindo a revisão e o esclarecimento de dúvidas. Finalmente, a Aula 08 focou no Equilíbrio dos Corpos, definindo ponto material, equilíbrio estático e

dinâmico, e reelaborando a Primeira Lei de Newton com base nesses conceitos. A sequência foi encerrada com a aplicação do pós-teste na Aula 09.

Os resultados e discussões apresentados por Silva (2015) revelaram que a metodologia proposta foi eficaz em promover a aprendizagem significativa. A análise da homogeneidade da amostra, por meio da comparação dos resultados do pré-teste entre as duas turmas, confirmou que os conhecimentos prévios eram similares. A comparação entre os resultados do pré-teste e do pós-teste demonstrou um aumento significativo no percentual de acertos nas questões relacionadas à Inércia e ao equilíbrio, indicando uma mudança positiva nas concepções dos estudantes. Por exemplo, a alternativa que associava o movimento ao acúmulo de força (senso comum) teve uma diminuição expressiva no pós-teste, enquanto a alternativa correta, que atribuía a parada do carrinho à ação de uma força (atrito), apresentou um aumento notável. A dificuldade inicial dos alunos em associar equilíbrio ao movimento (equilíbrio dinâmico) foi superada, com um crescimento substancial nas respostas corretas para essa questão no pós-teste. A concepção errônea de que a Inércia seria uma força também foi significativamente reduzida. Embora algumas questões tenham apresentado desafios de interpretação ou não tenham gerado o impacto esperado, a tendência geral dos dados apontou para uma reestruturação cognitiva dos estudantes, que passaram a elaborar raciocínios mais próximos do cientificamente correto, indo além da simples memorização. A análise dos livros didáticos, realizada no Capítulo 2, também reforçou a necessidade de uma abordagem mais aprofundada, pois a maioria das obras não associava explicitamente a Primeira Lei de Newton aos conceitos de equilíbrio, e as atividades experimentais eram escassas ou superficiais.

Em suas considerações finais, Frederico Jordão Montijo da Silva (2015) conclui que a utilização do pré-teste foi fundamental para identificar as concepções prévias dos estudantes, permitindo a elaboração de um plano de aula focado em confrontar essas ideias com o conhecimento científico. A metodologia proposta, que integrou a identificação de conhecimentos prévios, a atividade experimental e uma sequência didática detalhada, mostrou-se eficiente em promover a aprendizagem significativa da Primeira Lei de Newton e sua conexão com os conceitos de equilíbrio dos corpos. O autor ressalta que os estudantes foram capazes de desenvolver raciocínios que transcendem a memorização, o que valida a hipótese inicial da pesquisa. A capacidade dos alunos de relacionar os conceitos de equilíbrio estático e dinâmico com o repouso e o Movimento Retilíneo e Uniforme (MRU), respectivamente, é apontada como um forte indicativo do sucesso da metodologia. Silva (2015) expressa a expectativa de que seu trabalho sirva como um norteador para professores

do Ensino Médio e inspire futuras pesquisas, seja na aplicação da metodologia a outros conteúdos da Física, seja no aprofundamento do estudo sobre conhecimentos prévios ou no desenvolvimento de novas atividades experimentais para o ensino da Inércia.

3.3 A Sequência Didática para o Ensino das Leis de Newton com Apoio de Aplicativo Educacional: Uma Proposta de Adeilton Nascimento da Silva

A inserção das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) no ambiente educacional tem promovido o surgimento de diversas ferramentas digitais, como sistemas de gestão, ambientes virtuais de aprendizagem e objetos educacionais digitais. No contexto do ensino de Física, observamos um crescente número de objetos educacionais, incluindo simuladores, vídeos e e-books, desenvolvidos para apoiar a aprendizagem. Contudo, a universalização dessas ferramentas em escolas públicas ainda enfrenta desafios significativos, como a carência de investimentos em infraestrutura e a necessidade de capacitação docente. Diante desse cenário, a dissertação de Adeilton Nascimento da Silva (2019) apresenta uma proposta inovadora: uma sequência didática apoiada por um aplicativo educacional, visando facilitar o ensino das Leis de Newton do movimento no Ensino Médio. O trabalho busca, assim, ampliar as possibilidades do trabalho docente e promover o uso consciente de smartphones pelos alunos para consolidar a aprendizagem de um dos temas mais fundamentais da Física.

A motivação para o desenvolvimento do aplicativo e da sequência didática reside na percepção de que as Leis de Newton são frequentemente apresentadas de forma superficial e confusa em livros didáticos, o que contribui para dificuldades de aprendizagem. O aplicativo, intitulado “Leis de Newton”, foi concebido como uma alternativa pedagógica eletrônica, baseada na metodologia dos Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov (2014), e constitui o produto educacional central da dissertação, sendo um requisito para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. O objetivo primordial é facilitar o trabalho do professor de Física e proporcionar aos alunos experiências didáticas que valorizem a interação midiática, animações e desafios, tornando o aprendizado mais criativo e interativo.

O produto educacional, desenvolvido por Adeilton Nascimento da Silva em parceria com Saulo Daniel Ferreira Pontes (responsável pela programação e ilustração), é um aplicativo que se estrutura em uma introdução e três aulas, cada uma dedicada a uma das Leis de Newton. As aulas são subdivididas em fases, assemelhando-se a seções de um capítulo de

livro. Para estimular o engajamento dos estudantes, o aplicativo incorpora elementos de gamificação, como fases e aulas bloqueadas, que são liberadas à medida que o aluno avança e supera desafios. Essa abordagem visa instigar a sensação de "desafios ainda não superados", motivando o estudo contínuo. A introdução do aplicativo apresenta uma pequena história, na qual o personagem "Newtinho" se torna assistente de Isaac Newton, participando de uma seleção que exige a superação de aulas e desafios. Essa narrativa contextualiza o aluno sobre a vida e obra do cientista, tornando o ambiente de aprendizagem mais imersivo.

A Aula 1, focada na Primeira Lei de Newton, é conduzida pelo personagem Isaac Newton, que expõe conceitos e leis verbalmente, utilizando animações para facilitar a compreensão. O aluno controla o ritmo da aula, podendo avançar ou retroceder o texto. As fases dessa aula abordam a condição de repouso, o movimento com velocidade constante na ausência de forças externas, o enunciado da Primeira Lei e o conceito de Inércia, com exemplos cotidianos e desafios de múltipla escolha. Nas Aulas 2 e 3, que tratam da Segunda e Terceira Leis de Newton, respectivamente, a apresentação do conteúdo se assemelha a um livro didático digital, permitindo a inserção de símbolos, tabelas e imagens de forma mais ágil. A Aula 2 detalha a notação de vetores de força, a força resultante, a relação entre força resultante e aceleração, a definição de massa como medida da inércia e a unidade de força, culminando nos enunciados da Segunda Lei de Newton. A Aula 3 explora a Terceira Lei de Newton, tanto em sua forma conceitual, com exemplos do cotidiano, quanto em sua formulação matemática, explicando a ação e reação e suas implicações, como a atuação em corpos diferentes e a possibilidade de acelerações distintas. A última fase da Aula 3 inclui um desafio final complexo, onde o aluno deve determinar o corpo que se move e sua aceleração em diferentes configurações de forças. O aplicativo oferece feedback imediato, parabenizando o aluno em caso de acerto ou indicando erro e retornando ao desafio para uma nova tentativa.

A sequência didática proposta por Silva (2019) é o componente pedagógico que integra o aplicativo ao processo de ensino-aprendizagem, sendo baseada nos Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov (2014): Problemática Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento. Essa abordagem metodológica é crucial para a efetividade do produto educacional, e o autor enfatiza a importância de o professor conhecer os 3MP para uma compreensão aprofundada da metodologia.

O primeiro momento, a Problemática Inicial, ocorre no início das aulas, com perguntas que visam despertar o interesse dos alunos e identificar suas concepções prévias sobre as Leis de Newton. O professor atua como mediador, dialogando para instigar a busca

por novos conhecimentos. O segundo momento, a Organização do Conhecimento, é onde o aplicativo “Leis de Newton” desempenha um papel fundamental. Diferentemente das aulas expositivas tradicionais, o aplicativo permite que o aluno tenha um papel ativo, lendo o conteúdo, visualizando animações e superando desafios com feedback imediato. Este momento visa a construção do conhecimento de forma interativa e criativa. Por fim, o terceiro momento, a Aplicação do Conhecimento, envolve a resolução de questionários (disponíveis nos anexos da dissertação) sobre as aplicações das Leis de Newton. Os alunos aplicam os conhecimentos adquiridos em situações cotidianas, e o professor intervém para sanar dúvidas e complementar o aprendizado.

A unidade didática detalhada na dissertação é direcionada a alunos do 1º ano do Ensino Médio, com duração de 8 aulas de 50 minutos. Os objetivos gerais incluem a compreensão das três Leis de Newton, dos conceitos de inércia e massa, e a aplicação desses conhecimentos em situações cotidianas. Os conteúdos de aprendizagem abrangem aspectos conceituais (as três leis, inércia, massa) e procedimentais (relacionar as leis ao movimento e resolver problemas). A sequência didática é minuciosamente planejada aula a aula, desde a instalação do aplicativo e revisão de conceitos de cinemática e tipos de forças, até a aplicação dos Três Momentos Pedagógicos para cada uma das Leis de Newton. Por exemplo, a Aula III dedica-se à problematização inicial e à organização do conhecimento da Primeira Lei de Newton via aplicativo, enquanto a Aula IV foca na aplicação do conhecimento com um questionário específico. Esse ciclo se repete para a Segunda e Terceira Leis nas aulas subsequentes.

A avaliação do processo de ensino-aprendizagem é multifacetada, considerando as respostas aos questionários, a participação ativa dos alunos nas aulas e o desempenho na prova do bimestre. Para a comprovação pedagógica do produto educacional, o autor realizou uma experiência prática em sala de aula de uma escola estadual, utilizando pré-testes para avaliar os conhecimentos prévios e pós-testes para mensurar a aprendizagem após a aplicação da sequência didática. Embora os resultados detalhados da aplicação estejam na dissertação completa, o documento do produto educacional enfatiza que o aplicativo, por si só, pode não ser suficiente para a compreensão total do conteúdo, recomendando a intervenção do professor para complementar e auxiliar os alunos em suas dificuldades. Os recursos didáticos essenciais para a implementação da proposta incluem o aplicativo “Leis de Newton”, smartphones ou tablets, quadro negro e os questionários elaborados.

Em suma, o trabalho de Adeilton Nascimento da Silva (2019) representa um

esforço significativo para modernizar o ensino de Física, oferecendo uma ferramenta digital interativa e uma metodologia pedagógica estruturada para o ensino das Leis de Newton. Ao integrar o aplicativo “Leis de Newton” com os Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov, a proposta visa superar as lacunas do ensino tradicional, promover a aprendizagem significativa e capacitar os alunos a aplicar os conceitos físicos em seu cotidiano, ao mesmo tempo em que oferece um recurso valioso para professores que buscam inovar em suas práticas pedagógicas.

3.4 A Implementação de Laboratórios Virtuais para a Aprendizagem Potencialmente Significativa das Leis de Newton: Uma Análise da Dissertação de Jarbio da Silva Costa

A realidade do ensino de Física no Brasil, frequentemente marcada por metodologias tradicionais e mecanizadas, apresenta um desafio persistente: a dificuldade dos alunos em relacionar a teoria com a prática, o que obstaculiza uma aprendizagem verdadeiramente significativa. Nesse cenário, a dissertação de Jarbio da Silva Costa, intitulada "IMPLEMENTAÇÃO DE LABORATÓRIOS VIRTUAIS COMO POSSIBILIDADE DA APRENDIZAGEM POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA DAS LEIS DE NEWTON EM CURSOS INTEGRADOS DO IFMA - CAMPUS BARRA DO CORDA/MA", defendida em 2021 no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal do Piauí (UFPI), propõe uma abordagem inovadora para superar essa lacuna. O trabalho de Costa (2021) investiga como a utilização de softwares educacionais e simuladores em laboratórios virtuais pode promover uma aprendizagem potencialmente significativa das Leis de Newton, com foco especial na Segunda Lei, sob a perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel.

A motivação para a pesquisa de Costa (2021) surge da constatação de que as aulas de Física, muitas vezes limitadas à explanação de conteúdos e à resolução de atividades descontextualizadas, tornam-se pouco atrativas e ineficazes. A disciplina é frequentemente percebida pelos estudantes como um conjunto de fórmulas a serem memorizadas, desconectadas de suas experiências cotidianas (Veit e Teodoro, 2002; Heckler et al., 2007; Zanetic, 1989). Além disso, a carência de laboratórios físicos em muitas escolas públicas agrava a dificuldade de demonstração experimental da teoria. Nesse contexto, as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) e softwares educacionais livres, como os disponíveis na plataforma PhET Interactive Simulations, emergem como ferramentas promissoras para apoiar a demonstração de fenômenos físicos e tornar as aulas mais dinâmicas e interessantes.

O objetivo geral do estudo de Costa (2021) foi possibilitar a alunos do 1º ano de cursos Integrados do IFMA - Campus Barra do Corda/MA a aprendizagem potencialmente significativa da 2ª Lei de Newton, com base na Teoria de Ausubel, a partir da utilização de softwares educacionais/simuladores em laboratórios virtuais. Para tanto, o autor desdobrou este objetivo em etapas específicas: realizar um diagnóstico inicial das compreensões dos alunos sobre a 2ª Lei de Newton; apresentar os softwares educacionais para aplicação em situações-problema; desenvolver atividades significativas com softwares gratuitos; criar um laboratório virtual (Produto Educacional) para o ensino da 2ª Lei de Newton; e identificar elementos reveladores de aprendizagem significativa. A hipótese central que guiou a pesquisa foi a de que a utilização de softwares educacionais/simuladores em Laboratórios Virtuais (LV) de Física se apresenta como uma possibilidade para a aprendizagem potencialmente significativa da 2ª Lei de Newton na perspectiva ausubeliana.

A fundamentação teórica da dissertação de Costa (2021) é multifacetada, abordando a evolução das TICs no processo de ensino-aprendizagem, a contextualização do ensino de Física no Brasil e, centralmente, a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. O autor discute a contradição entre o avanço tecnológico da sociedade e a lentidão das escolas em incorporar esses recursos, destacando o papel das TICs como meios para tratar informações e facilitar a comunicação, com potencial para tornar o ensino de conteúdos complexos como a Física mais acessível. Os Laboratórios Virtuais são apresentados como uma alternativa viável e de baixo custo em comparação com os laboratórios tradicionais, promovendo a inclusão digital e estimulando a capacidade criativa e investigativa dos alunos (Lima et al., 2006). É ressaltado que os LVs não substituem os laboratórios físicos, mas os complementam, oferecendo simulações que permitem a exploração de situações fictícias e a reflexão sobre a teoria estudada.

No que concerne à Física, Costa (2021) revisita os fundamentos da Dinâmica, apresentando as três Leis de Newton e suas aplicações. O autor enfatiza que as Leis de Newton são princípios fundamentais, não meras derivações matemáticas, e que a compreensão formal da dinâmica é frequentemente dificultada por conceitos prévios do senso comum. A Primeira Lei (Inércia) é explicada a partir da superação da visão aristotélica, introduzindo os referenciais inerciais. A Segunda Lei (Princípio Fundamental da Dinâmica) é detalhada em sua relação entre força, massa e aceleração ($\sum F = m \cdot \vec{a}$), diferenciando massa de peso. A Terceira Lei (Ação e Reação) é apresentada com exemplos cotidianos, salientando que as forças atuam em corpos distintos.

A Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel é o pilar pedagógico da dissertação. Costa (2021) critica o ensino tradicional de Física, que se baseia na transmissão e memorização, e propõe que a aprendizagem da 2ª Lei de Newton deve considerar os elementos cognitivos preexistentes dos alunos. Ausubel (1982) define a aprendizagem significativa como o processo em que uma nova informação se relaciona, de maneira substantiva e não arbitrária, com um aspecto relevante da estrutura cognitiva do indivíduo, denominado subsunçor. A assimilação, processo pelo qual novos conceitos são integrados a conceitos mais inclusivos já existentes, é central para essa teoria. Em contraste, a aprendizagem mecânica, que envolve a memorização sem conexão com o conhecimento prévio, é considerada menos eficaz. A aplicação dessa teoria no ensino de Física implica em sempre buscar conectar novos conceitos às informações já presentes na mente dos alunos, como a distinção entre massa e peso.

A metodologia empregada por Costa (2021) caracteriza-se como uma pesquisa de campo com abordagem qualitativa, realizada no IFMA - Campus Barra do Corda/MA. Os participantes foram 21 alunos do 1º ano de cursos Integrados em Administração. A coleta de dados utilizou um questionário semiestruturado (pré-teste e pós-teste), observação participante e o Produto Educacional desenvolvido. A análise dos dados seguiu as orientações de Bardin (2011) para a Análise de Conteúdo por categorias, dividida em etapas pré-analítica, analítica e de interpretação inferencial.

O Produto Educacional, intitulado "IMPLEMENTAÇÃO DE LABORATÓRIOS VIRTUAIS COMO POSSIBILIDADE DA APRENDIZAGEM POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA DAS LEIS DE NEWTON EM CURSOS INTEGRADOS DO IFMA - CAMPUS BARRA DO CORDA/MA", consiste em uma sequência de atividades interativas utilizando o simulador PhET. Ele foi aplicado remotamente, devido à pandemia de COVID-19, em seis encontros de duas horas-aula cada. As atividades incluíram a exploração de ambientes virtuais como "Cabo de Guerra", "Aceleração" e "Movimento", com roteiros guiados nas fases iniciais e maior autonomia dos alunos nas etapas posteriores.

A análise e discussão dos dados revelaram que, no pré-teste, os alunos apresentavam uma compreensão empírica e mecanizada das Leis de Newton, frequentemente associando força e movimento de forma simplista e demonstrando dificuldades com o formalismo matemático e a interpretação de diagramas vetoriais. A maioria explicava fenômenos com base no senso comum e conceitos da cinemática, sem desenvolver um pensamento científico aprofundado. No entanto, a aplicação do Produto Educacional gerou

um engajamento notável. Os alunos, inicialmente acostumados a atividades escritas e cálculos mecanizados, demonstraram grande interesse e empolgação com o Laboratório Virtual. A mediação do simulador PhET permitiu uma "produção de significados" dos conceitos da 2ª Lei de Newton, com os alunos resolvendo as atividades e se divertindo. No pós-teste, os alunos relataram que o LV com simuladores foi uma "ferramenta muito boa" para entender as teorias e resolver atividades práticas, contribuindo para uma aprendizagem mais segura e significativa.

Em suas considerações finais, Jarbio da Silva Costa (2021) conclui que a utilização de softwares educacionais/simuladores em Laboratórios Virtuais de Física é uma estratégia eficaz para promover a aprendizagem potencialmente significativa das Leis de Newton. A pesquisa demonstrou que, ao tornar o aluno protagonista do processo e ao alinhar o uso da tecnologia com o conteúdo ensinado, é possível superar as dificuldades do ensino tradicional e fomentar uma compreensão mais profunda e duradoura dos conceitos físicos. O autor enfatiza que essa experiência transformou sua própria prática pedagógica, mostrando que o ensino de Física vai além da mera exposição de teorias e conceitos, e que a integração de simuladores pode enriquecer significativamente o processo de ensino-aprendizagem.

3.5 O Ensino Investigativo de Vetores no Ensino Médio: A Proposta da "Roda de Vetores" por Freitas, Silva Filho e Ferreira

A disciplina de Física, tanto no Ensino Médio quanto no Superior, é frequentemente caracterizada pela extensão de seus conteúdos e pela exigência de uma base matemática elevada, o que pode representar um obstáculo significativo para a aprendizagem dos estudantes. Dentre os conceitos fundamentais, o uso de vetores, e em particular a decomposição de vetores, é um tópico que, apesar de sua importância, é muitas vezes pouco desenvolvido. Diante dessa problemática, o trabalho de Alessandro Freitas, Olavo Leopoldino da Silva Filho e Marcello Ferreira, intitulado "Ensinando Vetores Para o 1º Ano do Ensino Médio: proposta de Ensino Investigativo com o uso do experimento 'Roda de Vetores'", propõe uma metodologia inovadora para introduzir esses conceitos, visando preparar o aluno para disciplinas que demandam um aprofundamento no tema.

A pesquisa de Freitas, Silva Filho e Ferreira (2019) fundamenta-se em uma síntese das ideias de Mathew Lipman e David Ausubel, conforme apresentado por Silva Filho e Ferreira (2018). Lipman, criador do programa de Filosofia para Crianças, defende uma

abordagem pedagógica centrada na construção de diálogos filosóficos que estimulem o pensamento crítico de crianças e adolescentes. Sua filosofia valoriza a capacidade de expressar conceitos com as próprias palavras, o pensamento cuidadoso e bem fundamentado, e a habilidade de interpretar situações do cotidiano, promovendo o crescimento pessoal e interpessoal em um âmbito investigativo. Lipman (2001) argumenta que o raciocínio é essencial para o desenvolvimento ético, capacitando o aluno a conectar conhecimento e experiência, explorar alternativas de ação, justificar crenças e substantiar generalizações, incentivando-os a pensar por si mesmos e a desenvolver um senso mais concreto de suas próprias vidas.

Paralelamente, a proposta incorpora a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, que, assim como a abordagem de Lipman, é uma representante do cognitivismo (Moreira; Masini, 2016). Ausubel postula que a aprendizagem deve ser significativa, ou seja, o conhecimento adquirido não deve ser arbitrário, mas sim ancorado (subsumido) na estrutura cognitiva dos aprendizes por meio de conceitos preexistentes, denominados subsunçores. Para que a aprendizagem significativa ocorra, é crucial identificar os conhecimentos prévios dos alunos, que funcionam como esses subsunçores. Uma vez que o conjunto de subsunçores da turma é conhecido, torna-se necessário desenvolver organizadores prévios – técnicas capazes de mobilizar esses subsunçores para que possam efetivamente ancorar o aprendizado subsequente. A síntese entre a abordagem descritivo-psicológica de Ausubel e a axiológico-educacional de Lipman, conforme demonstrado por Silva Filho e Ferreira (2018), permite estabelecer uma ponte fluida entre as descobertas da psicologia cognitiva e o contexto prático da sala de aula.

A metodologia empregada no estudo adota a proposta de Lipman (1995) de construir uma Comunidade de Investigação em sala de aula. Essa comunidade é centrada na resolução de problemas concretizados pelo uso de um protótipo experimental específico, denominado "roda de vetores". Em consonância com a abordagem de Lipman, os autores utilizam a metodologia da Aprendizagem por Investigação, que busca integrar o saber investigar com o saber estudar, promovendo a uniformização das técnicas de trabalho. Essa abordagem investigativa permite que os alunos não apenas compreendam os conceitos de vetores, mas também desenvolvam habilidades de raciocínio crítico e de resolução de problemas, essenciais para a formação em Física e para a vida.

Concluimos que, no que se refere Às Convergências Teórico-Metodológicas no Ensino de Física: Da Aprendizagem Significativa às Tecnologias Digitais, A complexidade

inerente ao ensino de Física, particularmente no que tange às Leis de Newton e conceitos fundamentais como vetores, tem impulsionado a busca por abordagens pedagógicas inovadoras que transcendam a mera memorização e promovam uma compreensão profunda e duradoura. Nesse cenário, a literatura acadêmica recente, conforme evidenciado pelos trabalhos de Santos (2020), Silva (2015), Silva (2019), Costa (2021) e Freitas, Silva Filho e Ferreira (2019), revela uma forte convergência em torno da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel como pilar fundamental, aliada à crescente integração de Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) e à adoção de metodologias ativas e investigativas.

A centralidade da Aprendizagem Significativa, conforme postulado por Ausubel (1982), é um elo comum que perpassa todos esses estudos. Santos (2020), ao desenvolver um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) no Moodle para o ensino das Leis de Newton, fundamenta sua proposta na ancoragem de novos conceitos em estruturas cognitivas preexistentes, utilizando mapas conceituais como ferramentas para organizar o conteúdo e avaliar a compreensão. De forma análoga, Silva (2015) estrutura sua metodologia para o ensino da Inércia e equilíbrio, partindo da identificação dos conhecimentos prévios dos alunos (subsunçores) para promover a transição do senso comum para o pensamento cientificamente correto. Costa (2021) também adota a perspectiva ausubeliana ao investigar a eficácia de laboratórios virtuais para a aprendizagem da Segunda Lei de Newton, buscando a "produção de significados" através da interação com simuladores. Mesmo no ensino de vetores, Freitas, Silva Filho e Ferreira (2019) integram a Aprendizagem Significativa, enfatizando a necessidade de mobilizar subsunçores e organizadores prévios para que o conhecimento adquirido não seja arbitrário. Essa consistência na aplicação da teoria de Ausubel sublinha a importância de considerar o conhecimento prévio do aluno e a intencionalidade pedagógica para que a aprendizagem de Física seja, de fato, significativa.

Paralelamente à fundamentação ausubeliana, observamos uma marcante tendência na incorporação de Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) como facilitadoras do processo de ensino-aprendizagem. Santos (2020) explora o potencial do AVA Moodle, destacando sua capacidade de oferecer recursos multimídia (vídeos, simulações, jogos) e fomentar a aprendizagem móvel (m-learning), tornando o conhecimento acessível e interativo. Silva (2019) avança nessa direção ao desenvolver um aplicativo educacional específico para o ensino das Leis de Newton, utilizando elementos de gamificação para engajar os alunos e proporcionar feedback imediato. Costa (2021), por sua vez, demonstra a

eficácia dos laboratórios virtuais e simuladores (como o PhET) em superar a carência de laboratórios físicos e promover a exploração investigativa de fenômenos, tornando a teoria mais concreta e atraente. A integração dessas ferramentas digitais não é meramente instrumental, mas sim estratégica, visando criar ambientes de aprendizagem mais dinâmicos, interativos e alinhados às experiências dos estudantes contemporâneos.

Complementando a base teórica e o uso de tecnologias, a adoção de metodologias ativas e investigativas emerge como um componente crucial para o sucesso pedagógico. Santos (2020) enfatiza a aprendizagem cooperativa, promovendo a interação social e a responsabilidade individual através de fóruns e atividades colaborativas no Moodle. Silva (2019) estrutura sua sequência didática nos Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov (Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento), que incentivam o aluno a um papel ativo na construção do saber. Freitas, Silva Filho e Ferreira (2019) propõem a construção de uma "Comunidade de Investigação" em sala de aula, inspirada em Mathew Lipman, onde a resolução de problemas com um protótipo experimental ("roda de vetores") estimula o pensamento crítico e a aprendizagem por investigação. Essas abordagens contrastam com o ensino tradicional e passivo, buscando engajar o aluno como protagonista de seu próprio aprendizado, desenvolvendo não apenas o conhecimento conceitual, mas também habilidades de raciocínio, análise e resolução de problemas.

A análise dos trabalhos selecionados nos permite identificar que a maioria das pesquisas se concentra no ensino das Leis de Newton, com diferentes abordagens e recursos didáticos, frequentemente fundamentados na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. No entanto, observamos que o tratamento específico dos conceitos de vetores e, principalmente, do equilíbrio das forças ainda é pouco explorado de forma articulada, sobretudo no contexto do ensino médio.

Nesse sentido, situamos o presente trabalho como uma proposta que busca contribuir para essa lacuna, ao enfatizar o estudo do equilíbrio das forças como eixo estruturador para a compreensão da Mecânica. Para isso, introduzimos o conceito de vetores, com destaque para sua decomposição, como base necessária para a construção do entendimento do equilíbrio, favorecendo uma organização conceitual mais consistente por parte dos estudantes.

Diferentemente das abordagens centradas predominantemente na aplicação direta das Leis de Newton, direcionamos nosso olhar para os fundamentos que sustentam esses conceitos, entendendo que a compreensão do equilíbrio estático e dinâmico constitui um

elemento essencial para a interpretação adequada dos fenômenos físicos. Assim, articulamos os conhecimentos prévios dos estudantes com a construção progressiva desses conceitos, buscando promover uma aprendizagem com maior significado e coerência conceitual.

Dessa forma, nosso estudo não apenas dialoga com a literatura existente, mas também avança ao propor uma abordagem que valoriza o papel estruturante dos vetores e do equilíbrio das forças no ensino de Física, contribuindo para a superação de dificuldades conceituais recorrentes identificadas no processo de ensino-aprendizagem.

4. REVISÃO DA FÍSICA

4.1 Grandezas físicas: escalares e vetoriais

Começamos apresentando a definição de Grandeza Física, conforme os autores examinados. No livro *Fundamentos de Física*, uma grandeza física é descrita como uma propriedade de um objeto ou sistema definida com o intuito de descrever os fenômenos naturais, sendo passível de medição que é expressa por um número acompanhado de uma unidade (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2014). Os autores destacam que o aprendizado da física perpassa pela medição e comparação dessas grandezas — tais como comprimento, tempo e massa —, realizando-se em unidades apropriadas por meio da comparação direta ou indireta com um padrão preestabelecido. Conforme explicitado por Nussenzveig (2013) em seu livro *Curso de Física Básica*, o método mais elementar de quantificar uma grandeza física envolve justamente a comparação direta com um padrão de medida adotado como unidade. Embora o autor ressalte que essa verificação direta só seja possível dentro de um domínio limitado, as grandezas físicas consolidam-se como fundamentais para a análise quantitativa e classificação dos fenômenos da natureza.

No estudo da Física, a análise quantitativa dos fenômenos naturais exige a classificação das grandezas de acordo com as informações necessárias para sua completa caracterização, podendo cada uma ser classificada como Grandeza Escalar ou Grandeza Vetorial, como veremos a seguir:

4.1.1 Grandezas Escalares

As grandezas escalares são definidas integralmente por um valor numérico, conhecido como módulo, e uma unidade de medida, não sendo necessária a associação de direção ou sentido.

Exemplos notáveis:

1. massa (por exemplo: 5 kg),

2. o tempo (por exemplo: 10 s),
3. a temperatura (por exemplo: 25 °C),
4. a energia (por exemplo: 100 J)
5. o volume (por exemplo: 2 L).

4.1.2 Grandezas Vetoriais

Por sua vez, as grandezas vetoriais requerem além do valor numérico (módulo) e de uma unidade de medida, uma direção e um sentido, para sua completa descrição. Elas são representadas graficamente por vetores.

Exemplos significativos abrangem:

- a força (por exemplo: 10 N - horizontal para a direita),
- a velocidade (por exemplo: 60 km/h - vertical para o norte),
- a aceleração (por exemplo: 9,8 m/s² - vertical para baixo),
- o deslocamento (por exemplo: 5 km - horizontal a leste).

4.2 Vetores

4.2.1 Conceito, definição e utilidade

Vetores são uma ferramenta matemática necessária para a representação gráfica de grandezas vetoriais.

4.2.2.1 Definição de Vetor

Um vetor é um segmento de reta orientado, caracterizado por três elementos essenciais:

- **Módulo** (ou intensidade), que corresponde ao comprimento do segmento e indica o valor numérico da grandeza;
- **Direção**, que é a linha de ação sobre a qual o vetor atua (por exemplo: horizontal, vertical, diagonal); e
- **Sentido**, que é a orientação específica ao longo da direção (por exemplo: para cima, para baixo, para a direita, para a esquerda).

A representação usual de um vetor é uma letra com uma seta em cima (por exemplo: $\vec{F}$ e $\vec{v}$) ou em negrito (por exemplo: **F**, **v**).

4.2.1.2 Para que servem os Vetores

Os vetores são representações gráficas indispensáveis por diversas razões: Primeiramente, eles permitem a representação precisa de fenômenos físicos que dependem não apenas da intensidade, mas também da orientação espacial (direção e sentido, como já falamos). Em segundo lugar, facilitam a observação e compreensão de interações entre grandezas vetoriais que interagem em um mesmo sistema físico. A análise vetorial também possibilita a previsão de comportamento, permitindo antecipar o estado de movimento ou equilíbrio de um corpo. Por fim, os vetores são a base para a modelagem matemática e a formulação de leis físicas em diversas áreas, como mecânica, eletromagnetismo e fluidos, conforme salientado por Young e Freedman (2016).

4.2.2 Operações com Vetores

A combinação de grandezas vetoriais difere da de grandezas escalares, exigindo métodos operacionais específicos.

4.2.2.1 Soma Vetorial (Resultante)

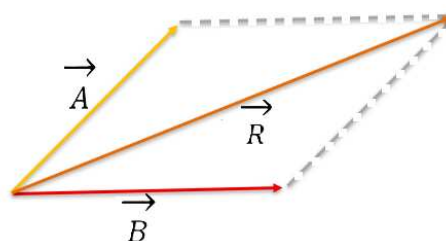
O objetivo da soma vetorial é determinar um único vetor, denominado resultante, que produza o mesmo efeito que a ação conjunta de dois ou mais vetores.

Existem **métodos gráficos** e **analíticos** para realizar essa operação.

Entre os **métodos gráficos**, destacam-se a **Regra do Paralelogramo** e a **Regra do Polígono**, diferenciadas a seguir:

- a) **Regra do Paralelogramo**, utilizada para dois vetores com origem comum, onde a resultante é a diagonal do paralelogramo formado por eles, e

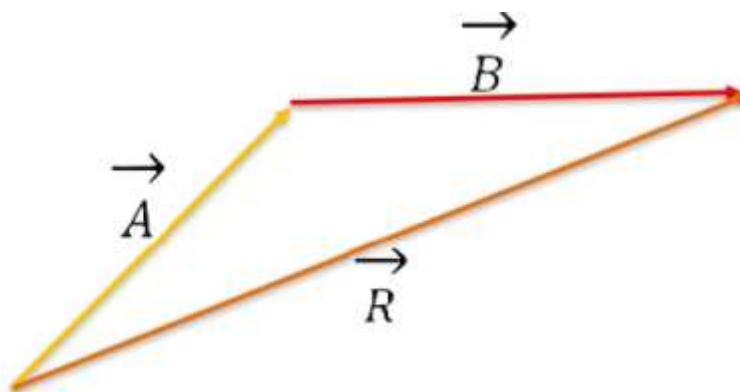
Figura 1 - Soma Vetorial - Regra do Paralelogramo.



Fonte: a autora.

- b) **Regra do Polígono**, na qual os vetores são conectados sequencialmente (extremidade de um na origem do próximo), e a resultante é o vetor que une a origem do primeiro à extremidade do último.

Figura 2 - Soma Vetorial - Regra do Polígono.



Fonte: a autora.

O **método analítico**, baseado na decomposição por componentes, envolve decompor cada vetor em suas componentes retangulares (eixos x e y), sendo a decomposição vetorial o processo inverso da soma, onde um vetor é desmembrado em componentes que atuam em direções específicas, geralmente ortogonais, seguindo os eixos x e y. Explicamos melhor a decomposição de vetores logo a seguir.

4.2.2.2 Decomposição Vetorial

Para ilustrar, imagine que se está tentando descrever um movimento que não acontece apenas em uma linha reta, como um avião decolando ou uma bola chutada para o alto. Em vez de lidar com a direção inclinada e complexa do movimento original, a física utiliza a decomposição de vetores. E o que é a Decomposição de Vetores?

Decompor um vetor significa "quebrá-lo" em partes menores e mais simples que, quando

somadas, resultam no vetor original. Geralmente, fazemos isso projetando o vetor sobre os eixos de um sistema de coordenadas, como o plano Cartesiano (eixos x e y). Imagine um vetor Força $\vec{F}$. Quando "traçamos retas perpendiculares" da ponta desse vetor até os eixos, encontramos dois segmentos:

- Componente $\vec{F}_x$ a parte do vetor que atua na horizontal (eixo x).
- Componente $\vec{F}_y$ a parte do vetor que atua na vertical (eixo y).

Por que fazemos isso? A grande vantagem desse método, que inicialmente chamamos de método analítico, é que ele simplifica significativamente os cálculos, pois em vez de usar trigonometria complexa para somar “flechas inclinadas”, trabalhamos com triângulos retângulos. Uma vez decomposto, o vetor pode ser expresso através de suas componentes escalares ($\vec{F}_x$ e $\vec{F}_y$) e de vetores unitários ($\vec{i}$ e $\vec{j}$), que indicam as direções dos eixos:

$$\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y$$

ou ainda,

$$\vec{F} = F_x \vec{i} + F_y \vec{j}$$

Como calcular as componentes?

Se soubermos o comprimento (módulo) do vetor e o ângulo θ que ele faz com o eixo horizontal, usamos fórmulas simples:

$$F_x = F \cdot \cos\theta \quad \text{e} \quad F_y = F \cdot \sin\theta$$

Enfim, usando a decomposição para resolver a soma de vetores dizemos que as componentes em x são somadas $\sum F_x$ e as componentes em y são somadas $\sum F_y$.

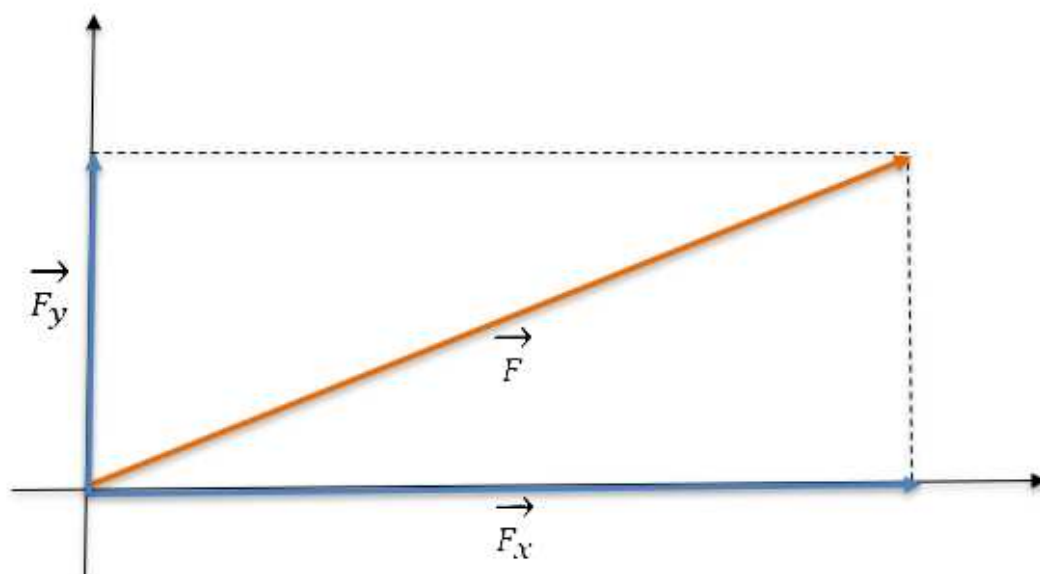
O módulo da resultante é então calculado pelo Teorema de Pitágoras:

$$F_R = \sqrt{\left(\sum F_x\right)^2 + \left(\sum F_y\right)^2}, \text{ e sua direção e sentido são determinados pelo ângulo:}$$

$$\theta = \arctg \frac{\Sigma F_y}{\Sigma F_x}.$$

Essa técnica é o passo fundamental antes de aprendermos a somar ou subtrair vetores, pois, com as componentes em mãos, a soma de dois vetores torna-se apenas a soma algébrica de suas partes horizontais e verticais separadamente. Sua **utilidade** reside na simplificação da análise, pois facilita o tratamento de forças que não se alinham com os eixos coordenados, permitindo uma análise independente de cada componente. Além disso, é o fundamento do método analítico para a soma vetorial e permite a análise de movimento em diferentes direções de forma separada, conforme abordado por Halliday, Resnick e Walker (2016).

Figura 3 - Decomposição vetorial.



Fonte: a autora.

4.2.2.3 Subtração Vetorial

A subtração de um vetor $\vec{B}$ de um vetor $\vec{A}$ é conceitualmente equivalente à soma de $\vec{A}$ com o vetor oposto a $\vec{B}$, ou seja, $\vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B})$. O vetor oposto $-\vec{B}$ possui o mesmo módulo e direção de $\vec{B}$, mas seu sentido é invertido. Após essa inversão, os métodos gráficos e analíticos da soma podem ser aplicados para encontrar o vetor resultante da

subtração.

4.3 Forças

Durante séculos, o problema do movimento e de suas causas foi um tema central da "filosofia natural". Hoje sabemos que o movimento bem como a falta dele, no caso o repouso, está intrinsecamente ligado ao que chamamos de forças que são grandezas físicas classificadas como vetoriais.

As leis do movimento, que hoje têm o nome de Leis de Newton, foram apresentadas pela primeira vez (1686), na sua obra *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis*, usualmente chamada de *Principia*.

4.3.1 Definição e Unidade

Força é uma grandeza física capaz de alterar o estado de movimento de um corpo (produzir aceleração) ou causar sua deformação. No Sistema Internacional (SI), a unidade de força é o Newton (N).

4.3.2 Leis de Newton e Forças

As Leis de Newton são a base para a compreensão das forças e seus efeitos. Não são o objetivo de nossa sequência didática, mas como foi dito acima, por serem leis que tratam de um conceito primordial, precisaremos fazer uma breve revisão.

Primeira Lei - Lei da Inércia

Também conhecida como o Princípio da Inércia, esta lei foi originalmente concebida por Galileu Galilei e formalizada por Newton e estabelece que um corpo mantém seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme, a menos que uma força resultante atue sobre ele.

A nível de graduação, a Primeira Lei não é apenas uma descrição de movimento, mas um postulado sobre a existência de uma classe especial de sistemas de coordenadas.

Definição: Existe um conjunto de referenciais, denominados referenciais

inerciais, nos quais uma partícula livre de interações externas (ou sob a ação de força resultante nula) possui aceleração nula.

Formalismo: Se $\sum F = 0$, então:

$$\frac{dv}{dt} = 0 \Rightarrow v = \text{constante}$$

Segunda Lei - Princípio Fundamental da Dinâmica

A **Segunda Lei**, também conhecida como o Princípio Fundamental da Dinâmica, afirma que a força resultante que atua sobre um corpo é diretamente proporcional ao produto de sua massa pela aceleração adquirida e define a dinâmica através da variação temporal do momento linear $\vec{p}$.

Momento Linear: Definido como $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$.

A força resultante é a taxa de variação desse vetor:

$$\vec{F}_R = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

Sistemas de Massa Constante: Se m é independente de t :

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

que serão os utilizados em nossa sequência didática, assumindo que trabalharemos com sistemas de massa constante.

Terceira Lei - Lei da Ação e Reação

Por fim, a **Terceira Lei**, a Lei da Ação e Reação, postula que para toda ação, existe uma reação de igual módulo, mesma direção e sentido oposto, esta lei estabelece a natureza das interações entre dois corpos.

Ação e Reação:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}.$$

Estas forças atuam ao longo da linha que une as partículas (na forma forte da lei).

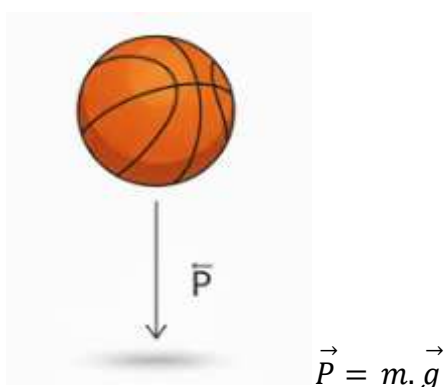
4.4.3 Tipos de Forças Comuns

Trazemos neste tópico alguns exemplos de tipos de forças que atuam nos sistemas físicos.

FORÇA PESO

A **FORÇA PESO** é a força de atração gravitacional exercida, por exemplo, pela Terra sobre um objeto de massa m .

Figura 4 - Força Peso



Fonte: criada pela autora com auxílio da inteligência artificial

Módulo (Intensidade), Direção e Sentido

O módulo da força peso é o produto da massa do corpo pela aceleração da gravidade local, como está mostrado acima, onde

m : é a quantidade de matéria, medida em quilogramas (kg) e uma grandeza escalar e invariante (não muda conforme o local) e g é a aceleração da gravidade e vale aproximadamente $9,8m/s^2$ na superfície da Terra.

A direção da força peso é sempre vertical. De forma mais precisa, ela aponta ao longo da linha que passa pelo centro de massa do objeto e o centro do planeta. Mesmo em superfícies inclinadas, o peso mantém sua direção vertical (perpendicular à linha do horizonte). O sentido é sempre para baixo, ou seja, orientado para o centro de massa do planeta (sentido da aceleração da gravidade).

FORÇA NORMAL

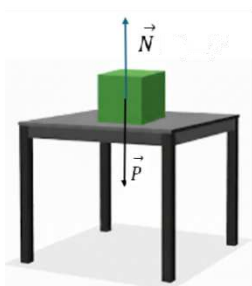
A **FORÇA NORMAL** é uma força de contato que uma superfície exerce sobre um objeto apoiado nela, perpendicular à superfície de apoio.

Módulo (Intensidade), Direção e Sentido

O módulo da Força Normal depende de onde está o objeto e das outras forças que estão agindo sobre ele.

A direção da força normal é sempre perpendicular à superfície de contato e o sentido para fora dessa superfície, como se estivesse empurrando o objeto.

Figura 5 - Força Normal $\rightarrow N$



Fonte: criada pela autora com auxílio da inteligência artificial

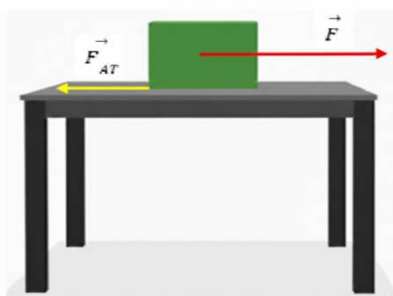
FORÇA DE ATRITO

A **FORÇA DE ATRITO** é uma força de contato que se manifesta pela interação eletromagnética entre os átomos das superfícies em contato aquela que se opõe à tendência de movimento relativo entre superfícies em contato. É uma força dissipativa, ou seja, sua existência causa uma dissipação da energia do sistema.

Módulo (Intensidade), Direção e Sentido

Sua direção é sempre ao longo do plano de contato entre os dois corpos, sendo, portanto, perpendicular à Força Normal tratada anteriormente. Seu sentido é sempre contrário ao sentido da tendência ao movimento. Para calcularmos sua intensidade, será necessário levar em conta sua condição de repouso ou movimento, bem como o valor do coeficiente de atrito entre as superfícies e também a intensidade da Normal $\vec{N}$.

Figura 6 - Força de Atrito $\vec{F}_{AT}$

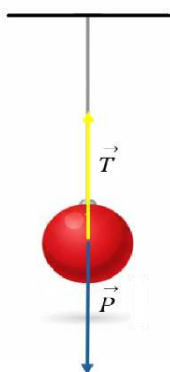


Fonte: criada pela autora com auxílio da inteligência artificial

FORÇA DE TRAÇÃO

A **FORÇA DE TRAÇÃO** é transmitida por elementos flexíveis como cordas ou cabos.

Figura 7 - Força de Tração $\vec{T}$



Fonte: criada pela autora com auxílio da inteligência artificial)

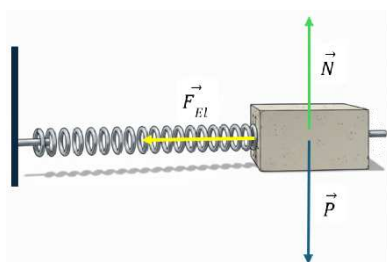
Módulo (Intensidade), Direção e Sentido

A força de tração atua sempre na direção do eixo longitudinal do fio ou cabo. Essa força é sempre dirigida para "fora" do corpo ao qual o fio está preso. Quanto à sua intensidade, no ensino médio, consideramos a tração constante em todo o fio (é uniforme em toda a extensão, servindo apenas para transmitir a força integralmente de uma extremidade a outra), porém, na graduação, pode acontecer de termos casos onde $\vec{T}$ varia.

FORÇA ELÁSTICA

E a **FORÇA ELÁSTICA** é a força exercida por molas ou materiais elásticos, descrita pela Lei de Hooke, a força elástica $\vec{F}_{El}$ é uma força de restauração exercida por sistemas deformáveis (como molas ou barras) que buscam retornar à sua configuração de equilíbrio.

Figura 8 - Força Elástica $\vec{F}_{El}$



Fonte: criada pela autora com auxílio da inteligência artificial)

Módulo (Intensidade), Direção e Sentido

A força atua ao longo da linha de deformação do objeto. No caso de uma mola helicoidal, a direção é o próprio eixo da mola, o sentido é sempre oposto ao vetor deslocamento $\vec{x}$. Se a mola é comprimida, a força "empurra" para fora; se é esticada, a força "puxa" para dentro.

$\vec{F}_{El} = -k\vec{x}$; o sinal negativo é a expressão matemática do sentido restaurador.

4.4 Equilíbrio Translacional

O equilíbrio translacional representa uma condição específica do estado de movimento de um corpo.

4.4.1 Definição e Condição

Um corpo encontra-se em equilíbrio translacional quando a soma vetorial de todas as forças externas (F_i^{ext} que atuam sobre ele é nula.

Esta é a **condição matemática** fundamental:

Como $F = \frac{d\vec{p}}{dt}$, o equilíbrio implica que o momento linear total $\vec{P}$ é uma constante do movimento:

$$\sum_{i=1}^n F_i = 0 \Leftrightarrow \frac{d\vec{P}}{dt} = 0$$

Para o Ensino médio, utilizamos apenas:

$$\sum F = 0$$

Esta condição implica que a soma das componentes das forças em cada direção cartesiana também deve ser zero, ou seja,

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum F_z = 0$$

(para análises tridimensionais.)

4.4.2 Implicações da Primeira Lei de Newton

Tem-se como condição principal de equilíbrio a anulação da força resultante, o que, conforme estabelecido pela Primeira Lei de Newton, implica que a aceleração do corpo é nula

$$\vec{F}_R = 0 \Rightarrow \vec{a} = 0$$

Consequentemente, o corpo pode apresentar dois estados de equilíbrio translacional: o **equilíbrio estático** e o **equilíbrio dinâmico**, em ambos a Força resultante é nula.

No **equilíbrio estático** o corpo está em repouso e permanece em repouso em relação a um referencial inercial e no **equilíbrio dinâmico**, o corpo está em movimento retilíneo uniforme (velocidade constante e não nula) e mantém esse estado.

4.5 Aplicações das situações de equilíbrio na vida cotidiana

O presente trabalho tem como objetivo, tratar do Equilíbrio, propriamente dito. O princípio do equilíbrio translacional é fundamental e onipresente, sendo a base para o projeto e a análise de inúmeras estruturas e sistemas.

- **Engenharia Civil e Arquitetura**

Na engenharia civil e arquitetura, o dimensionamento de estruturas como pontes, edifícios e telhados baseia-se na garantia de que todas as forças (peso próprio, cargas de vento, tráfego, etc.) se equilibrem, prevenindo falhas estruturais. As fundações, por exemplo, são projetadas para distribuir o peso da estrutura de modo que o solo suporte a carga sem deformações excessivas, mantendo o equilíbrio estático.

- **Veículos**

Em veículos, o equilíbrio translacional é observado em diversas situações. Em velocidade constante, um automóvel ou aeronave encontra-se em equilíbrio dinâmico, onde as forças de propulsão equilibram as forças de arrasto e atrito, e as forças de sustentação (em aeronaves) equilibram o peso. Durante a frenagem, a força de atrito dos freios entre os pneus e o solo gera uma força resultante que desacelera o sistema até o repouso.

- **Objetos Domésticos**

No ambiente doméstico, o conceito de equilíbrio é aplicado no design e uso de objetos. Prateleiras e estantes devem ser instaladas de forma que as forças exercidas pelos objetos e o próprio peso da estrutura sejam suportados pelas fixações, assegurando o equilíbrio estático. Similarmente, mobiliários como cadeiras e mesas são projetados para distribuir o peso de pessoas e objetos de maneira estável, evitando o tombamento.

- **Esportes**

Em esportes, o equilíbrio translacional é crucial. Atletas de levantamento de peso, por exemplo, mantêm o peso em equilíbrio estático acima da cabeça, onde a força muscular aplicada equilibra a força peso. Na escalada, os escaladores aplicam técnicas e utilizam equipamentos para distribuir seu peso e as tensões nas cordas, mantendo o equilíbrio estático em superfícies verticais.

- **Medicina, Biomecânica e Odontologia**

Na medicina e biomecânica, a manutenção da postura ereta humana envolve um

complexo equilíbrio de forças musculares e articulares para contrariar a ação da gravidade. O design de próteses também considera o equilíbrio de forças para garantir funcionalidade, estabilidade e conforto ao usuário, permitindo que ele execute movimentos de forma equilibrada. Na Odontologia, mais especificamente na ortodontia, onde forças são aplicadas para garantir o correto funcionamento da arcada dentária.

5. METODOLOGIA

5.1 Natureza da pesquisa

A presente pesquisa caracteriza-se como uma investigação de natureza aplicada, uma vez que tem como objetivo a elaboração, implementação e análise de um produto educacional no contexto do ensino de Física.

Quanto à abordagem, trata-se de uma pesquisa quali-quantitativa, pois combina a análise de dados numéricos, provenientes dos testes aplicados, com a interpretação qualitativa das respostas dos estudantes e de suas percepções acerca da metodologia adotada.

Do ponto de vista dos procedimentos, configura-se como uma intervenção pedagógica, uma vez que envolve a aplicação de uma sequência didática estruturada com o propósito de promover a aprendizagem significativa dos estudantes.

A pesquisa fundamenta-se nos pressupostos da Aprendizagem Significativa, proposta por David Ausubel, e da Aprendizagem Significativa Crítica, conforme desenvolvida por Marco Antonio Moreira, que enfatizam a importância dos conhecimentos prévios e da participação ativa do estudante no processo de aprendizagem.

5.2 Contexto da pesquisa

A pesquisa foi realizada em uma escola da rede pública de ensino, envolvendo uma turma do 2º ano do Ensino Médio, composta por estudantes regularmente matriculados na disciplina de Física.

A escolha da turma ocorreu em função das dificuldades observadas na aprendizagem de conteúdos relacionados ao equilíbrio dos corpos, especialmente no que diz respeito à compreensão de grandezas vetoriais e à interpretação de situações físicas.

A intervenção foi desenvolvida ao longo de cinco aulas, realizadas no ambiente regular de sala de aula, respeitando a organização curricular da instituição.

5.3 Produto educacional: Sequência Didática

O produto educacional que desenvolvemos, consiste em uma sequência didática voltada ao ensino de equilíbrio das forças, estruturada de forma a promover a construção progressiva do conhecimento, partindo dos saberes prévios dos estudantes até a formalização

conceitual.

A proposta didática foi fundamentada na integração entre a problematização inicial, a abordagem expositivo-dialogada, as atividades experimentais, a análise de dados e a discussão coletiva.

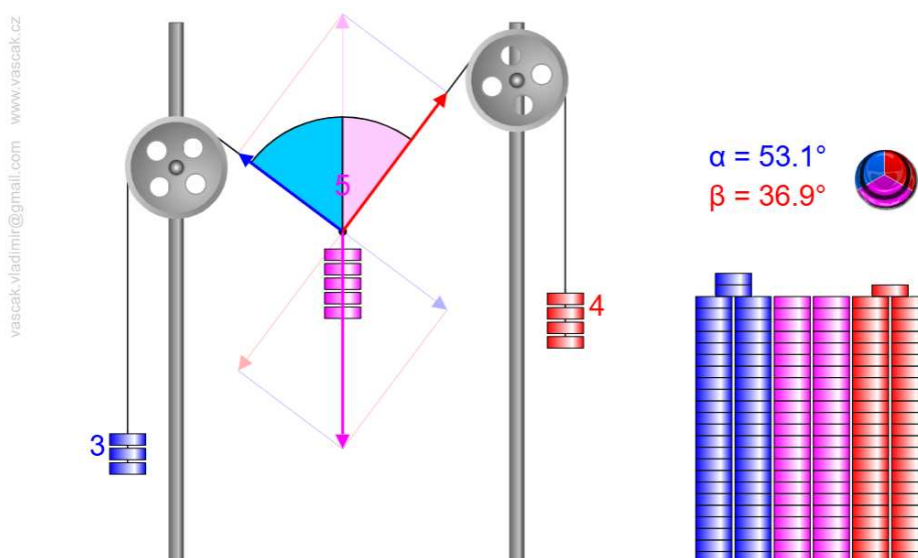
Além disso, buscamos articular diferentes estratégias metodológicas, com destaque para o uso combinado de experimentos virtuais e reais, favorecendo a visualização, a experimentação e a validação dos conceitos físicos.

Foi utilizada uma simulação virtual disponível no site Vascak Physics at School, (https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mech_rovnobeznik&l=pt) com o objetivo de possibilitar a visualização interativa da composição de forças. A ferramenta permite a manipulação de vetores, possibilitando a alteração de intensidade, direção e sentido, favorecendo a compreensão do princípio do paralelogramo de forças.

Exploramos a simulação como recurso introdutório, permitindo que os estudantes investigassem diferentes configurações de forças concorrentes. Ao manipular as massas, eles observaram a mudança na direção e sentido dos vetores que representam as trações nos fios, para em seguida entender a determinação da resultante, estabelecendo relações entre a representação geométrica e o fenômeno físico envolvido.

Durante a atividade, que os estudantes desenvolveram, em sua maioria, em seus próprios celulares, eles exploraram diferentes configurações de vetores, observando a resultante e estabelecendo relações entre representação gráfica e fenômeno físico.

Figura 9 – Tela do Experimento virtual utilizado.



Fonte: adaptado de Vascak (s.d.), disponível em:

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mech_rovnobeznik&l=pt. Acesso em: 02

fevereiro 2026.

Complementamos a sequência didática, realizamos uma atividade experimental com aparato físico, com o objetivo de relacionar a representação virtual à observação concreta do equilíbrio de forças. Para isso, utilizamos materiais de fácil acesso, como barbantes, massas e um suporte fixo de madeira composto por um pedaço quadrado de MDF com duas polias presas cada uma em um dos cantos superiores, por onde passariam os fios em que prendemos as massas.

Montamos um sistema de forças concorrentes, no qual diferentes massas foram conectadas por fios a um ponto comum. Ao ajustar os valores das massas e as direções dos fios, os estudantes puderam observar as condições necessárias para o equilíbrio do sistema. Para ajudar nessa observação, colocamos uma folha de papel quadriculado presa no painel para que os alunos pudessem medir os ângulos dos vetores com transferidores.

Conduzimos a atividade de modo investigativo, incentivando os estudantes a formular hipóteses, testar configurações e comparar os resultados obtidos com aqueles observados na simulação. Essa abordagem favoreceu a compreensão de que, no equilíbrio, a soma vetorial das forças atuantes é nula.

Além disso, discutimos possíveis fontes de erro experimental, como atrito e imprecisões na montagem, destacando as diferenças entre o modelo idealizado da simulação e a realidade do experimento físico.

Figura 10 – Experimento de equilíbrio de forças e alunos realizando o experimento.



Fonte: Autoria própria.

5.4 Elaboração da sequência didática

Nossa elaboração da proposta de sequência didática foi estruturada em quatro etapas inter-relacionadas, fundamentadas na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e nos princípios de organização de sequências didáticas propostos por Antoni Zabala.

A primeira etapa consistiu no levantamento teórico, por meio de uma revisão bibliográfica acerca das principais dificuldades de aprendizagem em Física, especialmente no que se refere à compreensão do conceito de força, grandezas vetoriais e condições de equilíbrio. Nessa fase, também pesquisamos sobre os fundamentos da aprendizagem significativa, com ênfase na valorização dos conhecimentos prévios como elementos essenciais para a construção de novos saberes.

A segunda etapa correspondeu à definição dos objetivos de aprendizagem. Estabelecemos os objetivos que contemplam a compreensão do conceito de força, a identificação e caracterização das grandezas vetoriais, a revisão das operações com vetores e a análise das condições de equilíbrio, constituindo o eixo central da proposta didática.

A terceira etapa, planejamento e a organização das atividades da sequência didática, estruturadas de forma progressiva e intencional. Inicialmente, propomos situações-problema contextualizadas no cotidiano dos estudantes, com o objetivo de favorecer a mobilização de conhecimentos prévios. Em seguida, realizamos uma roda de conversa, possibilitando a identificação desses conhecimentos e sua utilização como subsunçores para a aprendizagem de novos conceitos, conforme proposto por Ausubel.

Na sequência, foram desenvolvidas aulas expositivas dialogadas, articuladas com atividades experimentais. Considerando as limitações estruturais frequentemente presentes no contexto escolar, como a ausência de laboratórios adequados, optou-se pela utilização combinada de experimentos virtuais e experimentos reais. Os experimentos virtuais permitiram a simulação de fenômenos físicos, a manipulação de variáveis e a repetição de procedimentos, contribuindo para uma melhor compreensão dos conceitos. Já os experimentos práticos favoreceram a aproximação com situações reais, tornando a aprendizagem mais concreta e significativa.

Ao final da sequência, realizamos um momento de análise e discussão dos resultados, no qual os estudantes puderam refletir sobre os fenômenos observados e sobre o próprio processo de aprendizagem, consolidando os conhecimentos construídos ao longo das

atividades.

A quarta etapa consistiu na elaboração dos instrumentos avaliativos. Foram utilizados dois instrumentos principais: um pré-teste, com a finalidade de diagnosticar os conhecimentos prévios dos estudantes, e um pós-teste, aplicado após a intervenção didática. A utilização do mesmo instrumento nos dois momentos constituiu uma escolha metodológica intencional, permitindo uma comparação direta e mais precisa da evolução da aprendizagem. Essa estratégia possibilitou identificar, de forma objetiva, os avanços conceituais dos estudantes, bem como as dificuldades que persistiram após a aplicação da sequência didática.

Além disso, foi aplicado um questionário de percepção, com o objetivo de investigar aspectos relacionados à motivação, ao engajamento e à aprendizagem percebida pelos estudantes durante o desenvolvimento das atividades.

5.5 Aplicação da sequência didática

A sequência didática foi aplicada ao longo de cinco aulas, estruturadas conforme descrito a seguir:

Aula 1 – Sensibilização e diagnóstico

Nesta primeira aula, realizamos uma roda de conversa com o propósito de sondar os conhecimentos prévios dos estudantes. Para isso, utilizamos perguntas que conectam o cotidiano dos alunos com a Física, fundamentando-nos na teoria da Aprendizagem Significativa. Organizamos as perguntas em blocos temáticos para facilitar a compreensão de suas funções junto à teoria utilizada, sendo apresentadas a seguir.

O primeiro bloco temático (composto pelas perguntas 1 a 3) é estruturado em torno de "Perguntas-Âncora" ou "Organizadores Prévios" cujo objetivo era acessar a intuição e a experiência que o estudante trazia de sua vivência cotidiana.

As Perguntas-Âncora, que constituem o segundo bloco temático (perguntas 4 e 5), tinham como foco a representação. Por meio delas, busca-se o acesso ao nível de abstração dos estudantes.

O quadro abaixo mostra qual a ancoragem de cada questão utilizada e a qual ideia/conceito, ela prepara o estudante.

TABELA 2 - Relação entre os conteúdos que servem como ancoragem para aprendizagem e o novo conceito a ser construídos.

	Ancoragem	Prepara para
Pergunta 1	Experiência de força sem movimento.	a ideia de Força Resultante Nula .
Pergunta 2	Diferenciação entre Força e Aceleração.	o conceito de Equilíbrio Dinâmico .
Pergunta 3	Necessidade de Direção e Sentido na descrição de Força.	Constrói o conceito de Vetor .
Pergunta 4	Ideia de oposição vetorial e soma algébrica ,	a ideia da resultante em uma dimensão
Pergunta 5	Prepara para o estudo do Equilíbrio em 2D e a	decomposição de vetores na Aula 03.

Fonte: Elaboração própria.

Em seguida apresentamos a lista de perguntas que utilizamos para a realização da Roda de Conversa na Aula 01.

Lista de Perguntas

Pergunta 1:

Quando você empurra uma caixa e ela fica parada, você está fazendo força. Se há força, por que a caixa não se move? O que, na verdade, está 'cancelando' a força da sua mão?

Pergunta 2:

Um avião está voando em linha reta a uma velocidade constante. Para que isso aconteça, o piloto precisa manter o motor ligado, ou seja, há a força dos motores atuando. Por que, mesmo com a força dos motores, o avião não acelera? Em qual situação ele está?

Pergunta 3:

Se você precisa dar comandos para alguém deslocar uma caixa pesada para um determinado ponto, você diria apenas 'Coloque 50 Newtons de Força' ou precisaria dar mais detalhes? Quais são as informações *essenciais* que você precisa dar para que o ajudante aplique a força exatamente onde e como você quer?

Pergunta 4:

Dois grupos estão puxando uma corda (cabo de guerra), mas a bandeira central está parada. Se o Grupo A puxa com 100N para um lado, com quantos Newtons o Grupo B está puxando para o outro lado, e por quê? Se o Grupo B puxasse com 120N, para onde a bandeira iria?"

Pergunta 5:

Pense em um lustre ou semáforo pendurado por **dois cabos inclinados**. A força do Peso (para baixo) é cancelada por uma única força para cima? Como é que duas forças inclinadas conseguem anular uma força vertical? Como 'desenhamos' isso para entender o que está acontecendo?

Aula 2 – Introdução conceitual

Na sequência, nas Aula 02, retomamos as respostas dos estudantes da Roda de Conversa, considerando não só os acertos, mas também as concepções equivocadas e, junto aos resultados do pré-teste, pudemos construir a intencionalidade para essa aula.

Em um primeiro momento, realizamos uma retomada dos conceitos que se apresentaram fragilizados no encontro anterior, com o objetivo de consolidar bases necessárias para a construção de novos conhecimentos. Em seguida, introduzimos os conceitos formais de força, grandezas físicas vetoriais e condições de equilíbrio.

A abordagem metodológica adotada neste segundo encontro foi a expositiva-dialogada, na qual priorizamos a interação constante entre professor e estudantes. Essa estratégia buscou promover a articulação entre o conhecimento científico sistematizado e as concepções prévias dos alunos, em consonância com os pressupostos da aprendizagem significativa.

Observamos uma participação ativa dos estudantes ao longo da aula. Os discentes

demonstraram envolvimento ao formular questionamentos e ao reconhecerem, em suas próprias falas anteriores, ideias que estavam sendo ressignificadas à luz dos novos conceitos apresentados. Esse movimento evidenciou um processo de reconstrução cognitiva, no qual os alunos passaram a reorganizar seus conhecimentos, estabelecendo novas relações e atribuindo significados mais próximos do conhecimento científico.

Aula 3 – Experimento virtual

Na aula 3, aplicamos uma atividade experimental por meio de um experimento virtual. Para isso, levamos os estudantes ao laboratório de informática, com o objetivo de que pudessem acessar, nos computadores, o simulador disponível na plataforma Vascak, especificamente a atividade relacionada ao equilíbrio de forças.

No entanto, enfrentamos dificuldades relacionadas tanto ao funcionamento de alguns equipamentos quanto à instabilidade da conexão com a internet. Diante desse cenário, reorganizamos a dinâmica da atividade, propondo que os alunos utilizassem os tablets fornecidos pelo governo do estado ou seus próprios celulares.

Considerando que nem todos os estudantes dispunham de tablets, optamos por uniformizar o uso dos dispositivos, orientando que a atividade fosse realizada prioritariamente por meio de celulares. A execução ocorreu de forma flexível, sendo desenvolvida tanto individualmente quanto em duplas, de acordo com a preferência dos alunos.

Durante a realização do experimento virtual, observamos que os estudantes se envolveram ativamente, interagindo entre si, levantando questionamentos e buscando compreender os fenômenos apresentados no simulador. Além disso, mediamos o processo por meio de intervenções pontuais, com o intuito de auxiliar no cumprimento do roteiro da atividade e favorecer a construção do conhecimento.

Figura 11 - Alunos realizando o experimento virtual. Fonte: a autora



Fonte: Autoria própria.

Aula 4 – Experimento real

Na aula 4, realizamos uma atividade experimental com aparato físico, envolvendo polias, massas e medições de ângulos. Como dispúnhamos de apenas um kit experimental, organizamos os estudantes em equipes, de modo a possibilitar a participação de todos na execução da atividade.

Figura 12 - Alunos realizando o experimento real.



Fonte: Autoria própria.

Durante o experimento, os alunos coletaram dados e posteriormente os compararam com os resultados obtidos na simulação virtual trabalhada na aula anterior. Esse processo permitiu a discussão de possíveis discrepâncias entre os resultados, bem como a identificação de fontes de erro inerentes ao experimento real.

Observamos que a realização prévia do experimento virtual facilitou significativamente a compreensão dos procedimentos pelos estudantes. Os alunos demonstraram maior familiaridade com o roteiro da atividade, conseguindo executá-lo com mais autonomia e segurança. Esse aspecto evidencia a contribuição do ambiente virtual como etapa preparatória para a experimentação concreta.

Além disso, identificamos a necessidade de retomar o uso de instrumentos de medida, como o transferidor, especialmente no que se refere à leitura e interpretação de ângulos. Essa retomada foi importante para garantir maior precisão na coleta de dados e favorecer a compreensão dos resultados obtidos.

Outro ponto relevante foi a análise dos erros experimentais. Diferentemente do simulador, no qual determinadas variáveis são idealizadas, no experimento real os estudantes passaram a considerar fatores como o atrito e outras limitações do sistema físico. Como resultado, perceberam que os valores obtidos não eram perfeitamente coincidentes com os da simulação, o que possibilitou uma compreensão mais aprofundada sobre a natureza dos fenômenos físicos e das práticas experimentais.

Aula 5 – Avaliação e síntese

Na aula 5, aplicamos o pós-teste, utilizando o mesmo instrumento previamente adotado no pré-teste, com o objetivo de avaliar a aprendizagem dos estudantes ao longo da sequência didática. Essa escolha metodológica permitiu a comparação entre os desempenhos inicial e final dos alunos, possibilitando a identificação de avanços conceituais.

Após a aplicação do pós-teste, retomamos as questões com os estudantes, promovendo uma discussão coletiva com vistas à consolidação dos conceitos trabalhados e à reflexão sobre o processo de aprendizagem desenvolvido ao longo das aulas.

Além disso, aplicamos um questionário voltado à avaliação da metodologia utilizada, por meio do qual os estudantes puderam expressar suas percepções acerca das atividades desenvolvidas, incluindo o uso de experimentos virtuais e reais.

Os dados obtidos a partir do pré-teste, do pós-teste e do questionário de avaliação

da metodologia foram organizados e analisados, sendo seus resultados apresentados e discutidos nas seções seguintes.

5.6 Instrumentos de coleta de dados

A coleta de dados foi realizada por meio de dois instrumentos principais. Aplicamos o primeiro instrumento em forma de pré-teste no início da sequência didática, com o objetivo de identificar os conhecimentos prévios dos estudantes acerca dos conteúdos abordados.

Ao final da intervenção, aplicamos o pós-teste, utilizando o mesmo instrumento do pré-teste, o que nos permitiu avaliar a evolução da aprendizagem e identificar possíveis avanços conceituais.

Além disso, aplicamos um questionário de percepção após a intervenção, organizado em dimensões como motivação, engajamento, aprendizagem percebida, organização didática e autoavaliação.

Por meio desse conjunto de instrumentos, buscamos compreender tanto os aspectos quantitativos da aprendizagem — evidenciados pela comparação entre pré e pós-teste — quanto os aspectos qualitativos, relacionados à percepção dos estudantes sobre a metodologia utilizada e seus impactos no processo de aprendizagem.

5.7 Análise dos dados

A análise dos dados foi conduzida a partir de uma abordagem quali-quantitativa.

No que se refere à dimensão quantitativa, realizamos a comparação dos resultados obtidos no pré-teste e no pós-teste, calculamos os percentuais de acerto e identificamos indícios de evolução conceitual dos estudantes.

Em relação à dimensão qualitativa, interpretamos as respostas dos alunos, buscamos identificar dificuldades persistentes e analisamos as percepções expressas no questionário aplicado ao final da intervenção.

Os resultados foram organizados em gráficos, o que nos permitiu visualizar os avanços alcançados e discutir suas implicações à luz da teoria da Aprendizagem Significativa.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nossa análise dos resultados baseia-se na comparação entre os dados obtidos no pré-teste e no pós-teste. Em seguida, discutimos também as informações provenientes dos questionários aplicados aos estudantes acerca da metodologia utilizada.

Antes de iniciarmos a análise, apresentamos a estrutura das questões que compuseram o pré-teste e o pós-teste. Destacamos que essas questões foram organizadas em blocos temáticos, com o objetivo de avaliar diferentes aspectos da aprendizagem.

Organizamos os instrumentos em quatro blocos, conforme descrito a seguir:

Bloco 1 – Conceito de forças: composto pelas questões 1 a 3, abordando noções fundamentais relacionadas às forças;

Bloco 2 – Representação vetorial: composto pelas questões 4 a 6, envolvendo a interpretação e representação de vetores;

Bloco 3 – Operações com vetores: composto pelas questões 7 a 10, contemplando operações vetoriais;

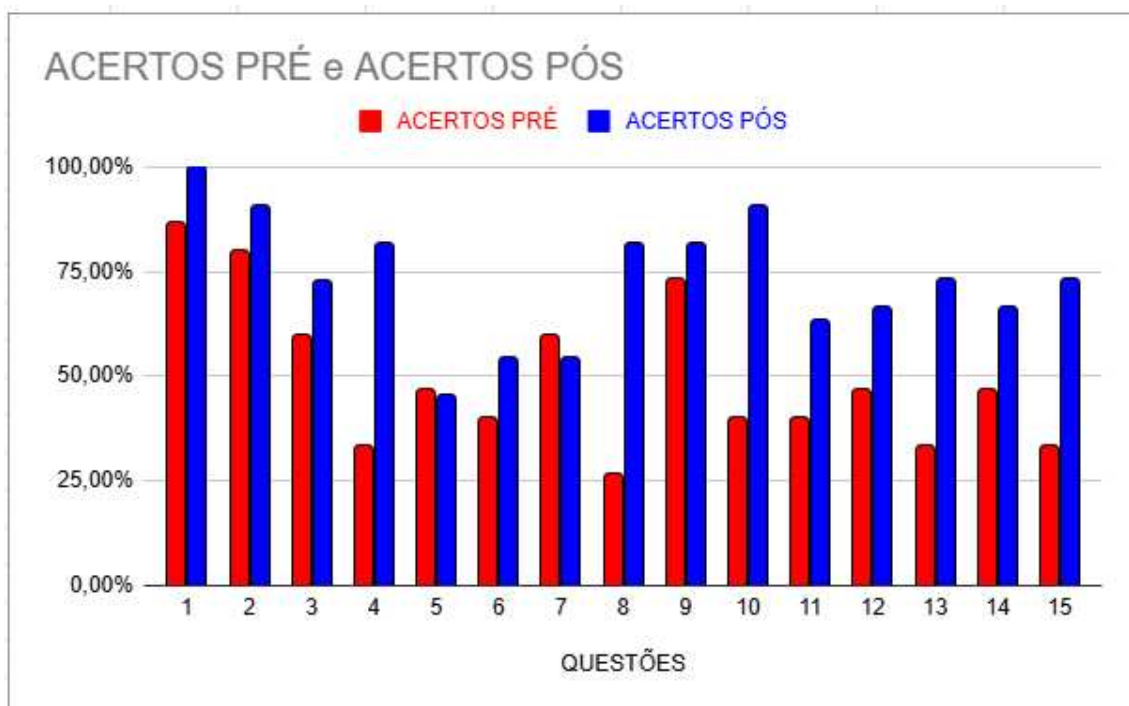
Bloco 4 – Equilíbrio de forças: composto pelas questões 11 a 15, voltadas à análise da aprendizagem sobre equilíbrio de forças propriamente dito.

Essa organização permitiu uma análise mais detalhada do desenvolvimento conceitual dos estudantes, possibilitando identificar avanços e dificuldades específicas em cada eixo temático.

A análise dos dados obtidos por meio do pré-teste, do pós-teste e do questionário de percepção dos estudantes nos possibilitou uma compreensão abrangente dos impactos da sequência didática desenvolvida nesta pesquisa. Inicialmente, verificamos que os resultados do pré-teste evidenciaram dificuldades conceituais significativas, especialmente no que se refere à compreensão de conceitos fundamentais relacionados ao equilíbrio. Tal evidência corrobora estudos que apontam fragilidades no ensino de Física quando pautado predominantemente em metodologias expositivas e descontextualizadas, conforme discutido por Moreira (2011).

Após a implementação da sequência didática, observamos, por meio dos resultados do pós-teste, uma evolução no desempenho dos estudantes. Como pode ser observado no Gráfico 1, que apresenta a comparação entre os percentuais de acerto no pré-teste e no pós-teste, identificamos indícios claros de avanços na compreensão conceitual. A análise indica que a intervenção pedagógica favoreceu a aprendizagem dos conteúdos abordados, contribuindo para a superação de concepções prévias inadequadas e para a construção de conhecimentos mais próximos do referencial científico.

Figura 13 - Comparação entre percentual de acertos no Pré-teste e no Pós-teste.



Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Neste gráfico observamos a relação entre os resultados do pré-teste e do pós-teste, e sua análise evidencia, de forma clara, a comparação entre os percentuais de acerto no pré-teste e no pós-teste ao longo das diferentes questões propostas. De modo geral, observamos um aumento consistente nos índices de acerto após a implementação da sequência didática, o que indica avanços significativos na aprendizagem dos estudantes.

Em praticamente todas as questões, os resultados do pós-teste superam aqueles obtidos no pré-teste, com destaque para as questões em que os índices iniciais eram mais baixos, como as questões 4, 8, 10, 13 e 15. Nesses casos, o crescimento percentual é mais expressivo, sugerindo que os estudantes conseguiram superar dificuldades conceituais previamente identificadas. Esse dado é particularmente relevante, pois indica que a intervenção pedagógica não apenas reforçou conhecimentos já parcialmente dominados, mas

também contribuiu para a construção de novos entendimentos em tópicos que apresentavam maior grau de complexidade.

Além disso, verificamos que, em algumas questões, como a 1 e a 2, os estudantes já apresentavam um desempenho relativamente elevado no pré-teste, o que pode indicar a presença de conhecimentos prévios mais consolidados. Ainda assim, houve melhora no pós-teste, o que reforça a ideia de ampliação e refinamento desses conhecimentos.

Outro aspecto importante diz respeito à regularidade dos avanços, uma vez que não se observa regressão significativa em nenhuma das questões. O padrão verificado sugere que a sequência didática foi eficaz de maneira global, promovendo uma evolução homogênea entre os diferentes conteúdos abordados.

À luz da teoria da Aprendizagem Significativa, esses resultados indicam que os novos conhecimentos foram ancorados de forma consistente nas estruturas cognitivas pré-existentes dos estudantes. A utilização articulada de diferentes estratégias — como a retomada de conhecimentos prévios, o uso de simuladores virtuais e a experimentação real — favoreceu a atribuição de significados aos conceitos físicos, contribuindo para a superação de concepções alternativas e para a construção de um entendimento mais próximo do conhecimento científico.

Os resultados evidenciam que a sequência didática atuou como elemento mediador na reorganização dos esquemas conceituais dos estudantes, possibilitando a transição de concepções alternativas para interpretações mais alinhadas ao conhecimento científico. A comparação entre os desempenhos no pré e no pós-teste indica não apenas um aumento quantitativo nos acertos, mas também indícios de aprendizagem significativa, na medida em que os estudantes passaram a estabelecer relações mais consistentes entre os conceitos trabalhados.

Entretanto, conforme destacam David Ausubel (1968) e Marco Antonio Moreira (2011), a aprendizagem não deve ser avaliada apenas pelo desempenho em testes, mas também pela forma como o estudante atribui significado ao conhecimento adquirido. Nesse sentido, lançamos mão dos dados do questionário de percepção dos estudantes que desempenham papel fundamental na validação dos resultados, nos conduzindo a uma aprendizagem significativa real.

Os resultados do questionário indicam elevados níveis de motivação, engajamento e participação dos estudantes durante as atividades, o que percebemos através da predominância de respostas positivas em todos os aspectos analisados. Destacamos que a

totalidade dos estudantes afirmou que a metodologia contribuiu para um aprendizado mais significativo e que aprenderam mais do que em aulas expositivas tradicionais.

Percebemos, então, que nosso resultado está em consonância com a Teoria da Aprendizagem Significativa, segundo a qual a aprendizagem ocorre de forma mais efetiva quando novas informações se relacionam de maneira não arbitrária com os conhecimentos prévios dos alunos (Ausubel, 1968) e que utilização de atividades experimentais, aliadas à mediação pedagógica e à interação entre os estudantes, favoreceu esse processo de ancoragem cognitiva.

Observamos também, a capacidade dos estudantes de explicar os conteúdos aprendidos, evidenciada nos resultados do questionário, indicando a ocorrência de aprendizagem em níveis mais profundos, ultrapassando a simples memorização mecânica. Segundo Moreira (2011), esse tipo de aprendizagem caracteriza-se pela compreensão crítica e pela capacidade de aplicação do conhecimento em diferentes contextos.

Outro aspecto relevante refere-se ao papel das atividades experimentais reais e virtuais, que foram avaliadas de forma amplamente positiva pelos estudantes. A integração entre essas abordagens contribuiu para a construção de um ambiente de aprendizagem mais dinâmico e interativo, favorecendo a articulação entre teoria e prática.

Mesmo sem estar como foco de nossa pesquisa, gostaria de pontuar que a participação ativa, a colaboração entre os estudantes e o ambiente favorável à expressão de ideias indicam a presença de elementos alinhados à teoria de Lev Vygotsky (1998), na qual a aprendizagem é compreendida como um processo mediado socialmente.

A convergência entre os dados quantitativos (melhora no desempenho no pós-teste) e qualitativos (percepção positiva dos estudantes e relatos descritivos) fortalece a validade dos resultados, configurando um processo de triangulação de dados. A triangulação evidencia que a aprendizagem não apenas ocorreu, mas foi reconhecida pelos próprios estudantes.

Apesar dos resultados positivos, a análise revela a necessidade de aprimoramentos, especialmente no que se refere à percepção de inclusão, uma vez que nem todos os estudantes consideraram as atividades plenamente inclusivas. O dado supracitado aponta para a importância de adaptações futuras que considerem a diversidade de perfis e necessidades dos alunos.

Dessa forma, os resultados indicam que a sequência didática proposta contribuiu significativamente para a promoção de uma aprendizagem mais ativa, significativa e

contextualizada no ensino de Física, evidenciando seu potencial como estratégia pedagógica para o ensino de conceitos de equilíbrio.

Por fim, destacamos que a integração entre a experimentação e recursos digitais constitui um caminho promissor para a superação das dificuldades historicamente associadas ao ensino de Física, favorecendo não apenas a aprendizagem conceitual, mas também o desenvolvimento do interesse e da autonomia dos estudantes.

Observamos, de forma geral, um aumento no percentual de acertos em todas as questões analisadas, com destaque para a questão sobre vetores, que apresentou crescimento expressivo. Esse resultado indica que a sequência didática contribuiu significativamente para a compreensão dos conceitos físicos, especialmente aqueles de maior complexidade cognitiva.

6.1 Discussão dos resultados por categoria conceitual

A análise dos dados foi organizada em categorias conceituais, com o objetivo de compreender de forma mais aprofundada como se deu o processo de aprendizagem dos estudantes ao longo da sequência didática. Essa organização permite identificar não apenas os avanços quantitativos (acertos), mas, sobretudo, os aspectos qualitativos relacionados à construção do conhecimento, à luz da Teoria da Aprendizagem Significativa e da proposta de sequência didática.

6.1.1 Conceito de Força (Q1–Q3)

Questão 1: Um estudante levanta sua mochila do chão. Na Física, a interação entre a mão do estudante e a mochila é descrita pelo conceito de força. Assinale a alternativa que define corretamente o que é força e sua unidade no Sistema Internacional (SI).

- a) Força é uma energia capaz de gerar calor, medida em Joules (J).
- b) Força é a quantidade de matéria em um corpo, medida em quilogramas (kg).
- c) Força é uma grandeza que só possui módulo, atuando na atração gravitacional, medida em Coulombs (C).
- d) Força é a causa que pode manter ou modificar o estado de movimento ou repouso de um corpo, ou causar deformação, medida em Newtons (N).
- e) Força é a capacidade de um corpo se manter em movimento retilíneo, medida em metros

por segundo (m/s).

Questão 2: Por que a Força é classificada como uma **grandeza vetorial**, diferentemente de grandezas como Tempo e Massa (escalares)?

- a) Porque seu valor (módulo) é sempre positivo, o que não ocorre com as grandezas escalares.
- b) Porque é medida pelo produto da massa pela aceleração ($F = m \cdot a$), e a massa é um escalar.
- c) Porque ela se combina algebricamente através de somas e subtrações simples, como o tempo.
- d) Porque, além do seu valor (módulo), ela precisa de direção e sentido para ser completamente descrita.
- e) Porque ela só existe no planeta Terra e depende da atração gravitacional.

Questão 3: Qual par de forças atua sobre um livro que está em repouso sobre uma mesa horizontal?

- a) Força Peso (para baixo) e a Força de Atrito (oposta ao movimento).
- b) Força de Tração (do cabo) e Força Peso (para baixo).
- c) Força Elástica (da mola) e Força Normal (perpendicular à superfície).
- d) Força Peso (atração da Terra) e Força Normal (reação da superfície).
- e) Força de Ação e Reação (Terceira Lei de Newton) que se anulam na mesa.

Os resultados das questões iniciais evidenciam um avanço significativo na compreensão dos conceitos fundamentais de força, indicando que os estudantes foram capazes de superar concepções alternativas previamente consolidadas.

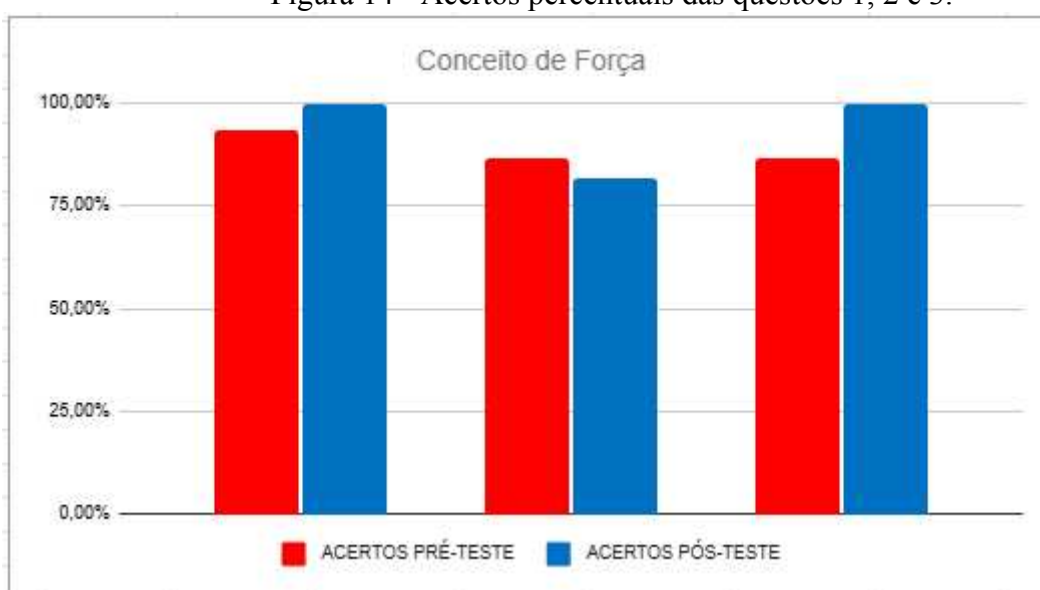
Na questão 1, o aumento no número de acertos sugere que os alunos conseguiram reformular concepções intuitivas, como a associação direta entre força e movimento. Esse resultado é particularmente relevante à luz da teoria da aprendizagem significativa, pois demonstra a atuação dos subsunçores, que foram mobilizados e reestruturados durante o processo de ensino. Isso indica que o novo conhecimento não foi simplesmente memorizado,

mas ancorado em estruturas cognitivas pré-existentes.

Na questão 2, observamos um avanço mais expressivo, indicando que os estudantes passaram a compreender a força como uma grandeza vetorial, incorporando elementos como direção e sentido. Esse movimento caracteriza um processo de diferenciação progressiva, no qual o conceito inicial vai sendo enriquecido e especificado.

Já na questão 3, o desempenho evidencia a capacidade de aplicação do conceito em diferentes contextos, demonstrando que o conhecimento foi internalizado de forma funcional, ultrapassando o nível puramente declarativo.

Figura 14 - Acertos percentuais das questões 1, 2 e 3.



Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Observamos que os estudantes já apresentavam um desempenho relativamente elevado no pré-teste, com percentuais de acerto próximos a 90% na maioria das questões. Após a aplicação da sequência didática, identificamos um avanço ainda mais significativo, com algumas questões atingindo 100% de acertos no pós-teste.

Verificamos, entretanto, que em uma das questões houve uma leve redução no percentual de acertos no pós-teste em comparação ao pré-teste. Compreendemos que esse resultado pode estar associado a possíveis dificuldades pontuais na interpretação da questão ou à complexidade conceitual envolvida, não comprometendo, contudo, a tendência geral de melhoria observada no bloco.

De modo geral, reconhecemos que os resultados evidenciam a consolidação do conceito de força, indicando que os estudantes não apenas mantiveram um bom desempenho inicial, mas também ampliaram sua compreensão conceitual após a intervenção pedagógica.

6.1.2 Representação Vetorial (Q4–Q6)

Questão 4: A representação de uma força F por um vetor exige a identificação de três elementos essenciais:

- a) Inércia, Módulo e Direção.
- b) Origem, Ponto e Coordenada.
- c) Módulo (Intensidade), Direção e Sentido.
- d) Massa, Aceleração e Velocidade.
- e) Componente X, Componente Y e Componente Z.

Questão 5: Uma força F de 100N é aplicada em uma caixa, formando um ângulo de 60° com a horizontal (eixo x). Qual o significado físico da componente horizontal (F_x) dessa força?

- a) É a força que anula o peso da caixa, garantindo o equilíbrio vertical.
- b) É a força total que atua na caixa, independentemente do ângulo de aplicação.
- c) É a força que o corpo sente ao tentar escapar da trajetória, devido à inércia.
- d) É a parte da força total F que é efetiva para causar movimento na direção horizontal.
- e) É sempre nula, pois a caixa só pode se mover na direção da força total aplicada.

Questão 6: Dois vetores, $\vec{A}$ e $\vec{B}$, têm o mesmo módulo (valor numérico) e a mesma direção (vertical), mas representam forças com sentidos opostos (um para cima e outro para baixo). Qual a relação vetorial correta entre eles?

- a) $\vec{A} = \vec{B}$
- b) $\vec{A} = -\vec{B}$

$$c) |\vec{A}| \neq |\vec{B}|$$

$$d) \vec{A} + \vec{B} = 2\vec{A}$$

$$e) \vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}| \cdot |\vec{B}|$$

Nesse bloco, percebemos que os resultados indicam avanços consistentes na compreensão da linguagem vetorial, ainda que com níveis diferenciados de domínio entre os conteúdos.

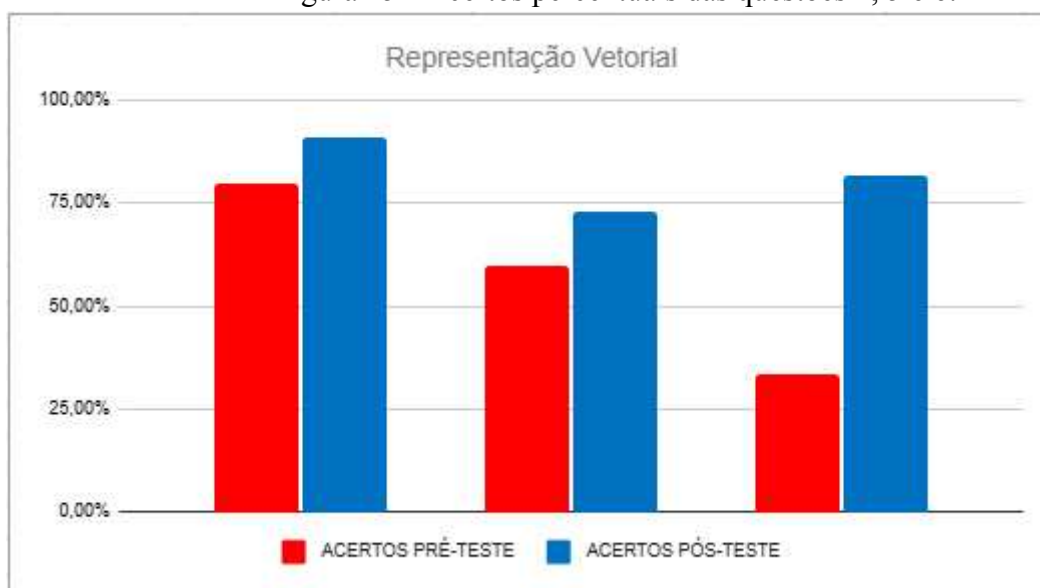
Na questão 4, observamos melhora significativa, indicando que os estudantes consolidaram os elementos fundamentais do vetor. Esse resultado aponta para uma organização cognitiva mais estruturada, essencial para aprendizagens posteriores mais complexas.

Por outro lado, na questão 5, que envolve decomposição vetorial, o ganho foi mais moderado, revelando um ponto crítico no processo de aprendizagem. Esse conteúdo exige a articulação entre conhecimentos físicos e matemáticos, o que aumenta significativamente a carga cognitiva.

Sob a perspectiva da aprendizagem significativa, essa dificuldade pode ser explicada pela insuficiência de subsunçores matemáticos, o que limita a ancoragem do novo conteúdo e compromete sua assimilação plena.

Na questão 6, relacionada à representação gráfica, os resultados nos mostraram melhora consistente, sugerindo que o uso de recursos visuais e experimentais favoreceu a construção de significados mais estáveis.

Figura 15 - Acertos percentuais das questões 4, 5 e 6.



Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Os resultados desta seção destacam que a ocorrência da aprendizagem significativa se dá de maneira desigual. Além disso, a complexidade do conteúdo demonstrou impactar diretamente o desempenho dos estudantes, enquanto o uso de múltiplas representações se mostrou benéfico para a compreensão.

Confirma-se, assim, a eficácia da diversidade metodológica empregada, que incluiu representações visuais, simbólicas e experimentais, consolidando-se como um elemento central na proposta de ensino adotada.

6.1.3 Operações com Vetores (Q7–Q10)

Questão 7: A soma de dois vetores

$\vec{A}$ e $\vec{B}$ é o vetor resultante $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B}$. Graficamente, se usarmos a "regra do polígono", como o **vetor resultante** é traçado?

- a) Unindo a origem de $\vec{A}$ com a origem de $\vec{B}$.
- b) Unindo a extremidade de $\vec{B}$ com a extremidade de $\vec{A}$.
- c) Unindo a extremidade de $\vec{A}$ com a origem de $\vec{R}$.
- d) Unindo a origem do primeiro vetor ($\vec{A}$) à extremidade do último vetor ($\vec{B}$).

e) Traçando uma linha a partir do ponto médio entre $\vec{A}$ e $\vec{B}$.

Questão 8: Duas forças, $\vec{F}_1(3N, horizontal)$ e $\vec{F}_2(4N, vertical)$, atuam simultaneamente sobre um corpo. Qual o módulo da força resultante $\vec{R}$?

- a) 1N
- b) 3,5N
- c) 5N
- d) 7N
- e) 12N

Questão 9: Dois vetores de módulos $5u$ e $10u$ são somados. Qual o **único** valor que o módulo do vetor resultante $\vec{R}$ **não pode** assumir?

- a) $5u$
- b) $15u$
- c) $12u$
- d) $8u$
- e) $17u$

Questão 10: Quatro vetores $\vec{A}$, $\vec{B}$, $\vec{C}$ e $\vec{D}$ são dispostos em sequência (ponta-cauda) e formam um polígono fechado. O vetor $\vec{D}$ volta para a origem do primeiro vetor. Qual o módulo da soma vetorial $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C} + \vec{D}$?

- a) $\vec{R} = |\vec{A}| + |\vec{B}| + |\vec{C}| + |\vec{D}|$
- b) $\vec{R}$ = módulo do vetor mais longo
- c) O módulo é 4.
- d) O módulo é a soma das diagonais.
- e) O módulo da resultante é zero (vetor nulo).

As questões relacionadas às operações vetoriais evidenciam avanços, porém com maior heterogeneidade, indicando um aumento da exigência cognitiva.

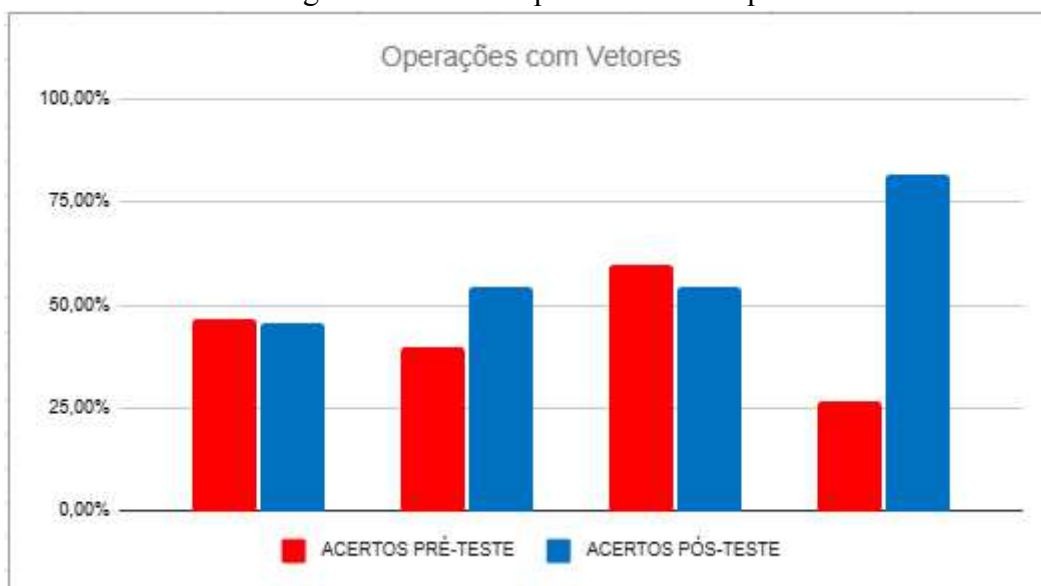
Na questão 7, o bom desempenho sugere que os estudantes compreenderam as regras básicas de composição vetorial, indicando aprendizagem com significado operacional.

Entretanto, nas questões 8 e 9, os ganhos foram mais modestos, evidenciando dificuldades relacionadas ao uso de ferramentas matemáticas e à compreensão do papel do ângulo entre vetores. Esses resultados indicam que os alunos ainda se encontram em processo de consolidação.

A questão 10 apresentou menor evolução relativa, o que pode ser atribuído à elevada complexidade envolvida na análise simultânea de múltiplos vetores, exigindo maior nível de abstração e integração conceitual.

Do ponto de vista teórico, observamos que, à medida que a complexidade aumenta, torna-se mais difícil estabelecer relações significativas, especialmente quando os conhecimentos prévios não estão suficientemente estruturados.

Figura 16 - Acertos percentuais das questões 7 a 10.



Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Este bloco de análise demonstra que a aprendizagem significativa possui limitações operacionais e que a assimilação de conteúdos mais abstratos exige um período de tempo mais extenso. Além disso, há uma acentuada dependência de conhecimentos prévios, especificamente na área da Matemática.

Os resultados nos apontam para a necessidade de ajustes na sequência didática,

tais como: ampliação do tempo de exploração, maior gradualidade nas atividades e retomadas sistemáticas dos conceitos.

6.1.4 Equilíbrio de Forças (Q11–Q15)

Questão 11: Segundo a Primeira Lei de Newton, um corpo está em **Equilíbrio Translacional** quando:

- a) A força resultante (soma vetorial de todas as forças) que atua sobre ele é nula $\Sigma \vec{F} = 0$.
- b) Ele está parado e não sofre a ação de nenhuma força.
- c) Sua velocidade está diminuindo, indicando que a inércia está agindo.
- d) A soma de todas as forças que agem sobre ele é igual à sua massa.
- e) Ele está se movendo, mas a soma de todas as forças é positiva.

Questão 12: Qual a principal diferença entre o **Equilíbrio Estático** e o **Equilíbrio Dinâmico**?

- a) O equilíbrio dinâmico ocorre apenas no espaço, e o estático, na Terra.
- b) No estático a Força Resultante é nula, e no dinâmico, é constante e não nula.
- c) Ambos têm Força Resultante nula, mas o estático envolve velocidade nula (repouso) e o dinâmico envolve velocidade constante e diferente de zero.
- d) O estático tem aceleração nula, e o dinâmico tem aceleração constante.
- e) O equilíbrio estático exige torque nulo, e o dinâmico não.

Questão 13: Um objeto está pendurado por dois cabos, formando um ângulo agudo entre si. Sabendo que o objeto está em repouso, a condição para o equilíbrio é:

- a) O módulo de cada força de tração ($\vec{T}_1$, $\vec{T}_2$) deve ser igual ao Peso ($\vec{P}$).
- b) Apenas a soma dos módulos das forças é o suficiente para anular o Peso.
- c) O Peso ($\vec{P}$) é nulo, pois o objeto está parado.
- d) A soma dos módulos das trações é sempre maior que o Peso.

e) A soma vetorial da Força Peso ($\vec{P}$) e das duas Forças de Tração ($\vec{T}_1 + \vec{T}_2$) resulta no vetor nulo ($\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{P} = 0$).

Questão 14: Imagine a situação: você empurra uma caixa pesada no chão e ela permanece parada (em repouso). Se você está aplicando uma força, por que a caixa não se move?

- a) Porque a força da sua mão é anulada pela massa total da caixa.
- b) Porque a força que você aplica é "cancelada" pela força de atrito entre a caixa e o chão.
- c) Porque em objetos parados a gravidade deixa de atuar temporariamente.
- d) Porque a caixa possui uma força interna que impede qualquer movimento.
- e) Porque o ar ao redor da caixa empurra ela no sentido contrário com a mesma intensidade.

Questão 15: Se a soma vetorial de todas as forças que atuam sobre um corpo é diferente de zero ($\Sigma \vec{F} \neq 0$), qual a consequência imediata, de acordo com a Segunda Lei de Newton?

- a) O corpo deve se mover com velocidade constante.
- b) O corpo deve se manter em repouso (equilíbrio estático).
- c) O corpo tenderá a manter seu estado de movimento (inércia).
- d) O corpo deve adquirir uma aceleração que possui a mesma direção e sentido da força resultante ($\vec{a} = \frac{\Sigma \vec{F}}{m}$).
- e) O corpo deve sofrer uma força de reação de mesma intensidade e sentido oposto.

Os resultados deste bloco nos mostram o nível mais elevado de consolidação conceitual entre os estudantes .

O aumento expressivo de acertos na questão 11, demonstra a compreensão da condição de equilíbrio translacional, indicando que os alunos internalizaram o conceito de resultante nula, ao mesmo tempo que na questão 12 evidencia a capacidade de diferenciar equilíbrio estático e dinâmico, caracterizando um refinamento conceitual importante.

A questão 13 apresentou ganho moderado, possivelmente devido à complexidade

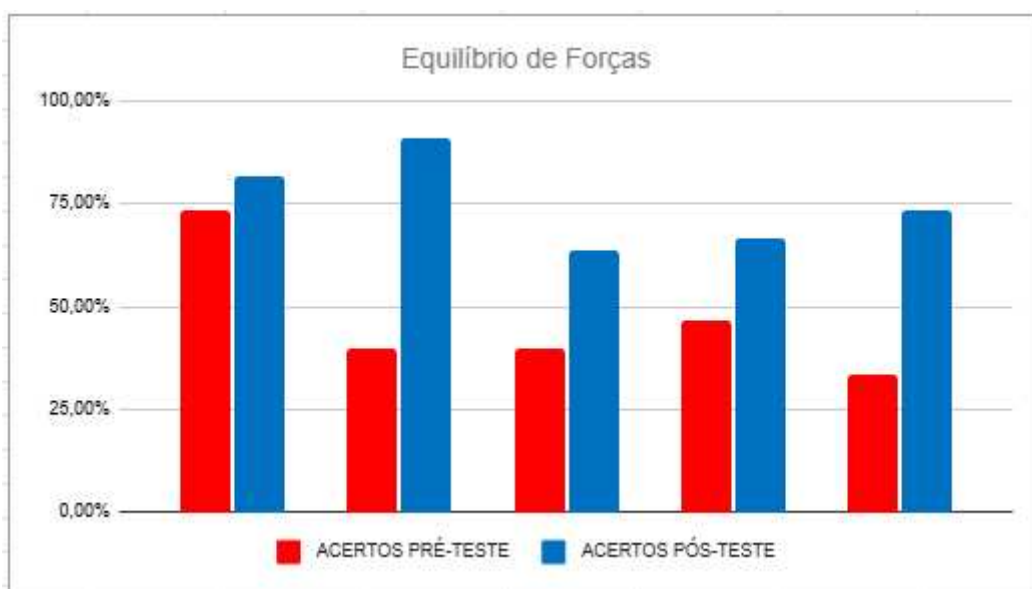
da análise em duas dimensões, que exige a integração de diferentes conceitos e habilidades.

Na questão 14, os estudantes demonstraram bom desempenho, sugerindo que o conceito de cancelamento de forças foi facilmente ancorado em conhecimentos intuitivos previamente existentes.

Por fim, na questão 15, o avanço observado indica compreensão das consequências de uma força resultante diferente de zero, evidenciando integração com princípios mais amplos da mecânica.

Sob a perspectiva da aprendizagem significativa, este bloco representa um processo de reconciliação integradora, no qual diferentes conceitos são articulados em uma estrutura cognitiva mais coerente e organizada.

Figura 17 - Acertos percentuais das questões 11 a 15.



Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Esta etapa final da sequência didática, de aplicação do conhecimento, síntese conceitual e consolidação da aprendizagem, demonstrou resultados que confirmam a efetiva consolidação da aprendizagem. Os estudantes atingiram níveis de compreensão mais elevados, conseguindo integrar diversos conceitos.

De forma global, os resultados que obtivemos indicam que a sequência didática foi eficaz na promoção da aprendizagem significativa. Observamos essa eficácia por meio da evolução progressiva dos conceitos e da superação de concepções alternativas pelos estudantes. Além disso, reiteramos que houve uma integração sólida entre teoria e aplicação, o que nos permitiu constatar a consolidação do conhecimento em níveis de complexidade mais elevados.

6.2 Análise Geral dos Resultados

A comparação entre os resultados do pré-teste e do pós-teste revelou uma evolução consistente e pedagogicamente significativa no desempenho dos estudantes. Compreendemos que esse avanço não deve ser interpretado apenas como um aumento quantitativo de acertos, mas como evidência de um processo de reconstrução conceitual, característica central da aprendizagem significativa.

Sob a perspectiva de David Ausubel, identificamos que houve: ativação de subsunçores; diferenciação progressiva dos conceitos; e reconciliação integradora.

Já sob a ótica de Antoni Zabala, verificamos que os resultados validam a eficácia de uma sequência didática estruturada, caracterizada por progressão lógica, diversidade metodológica e intencionalidade no planejamento.

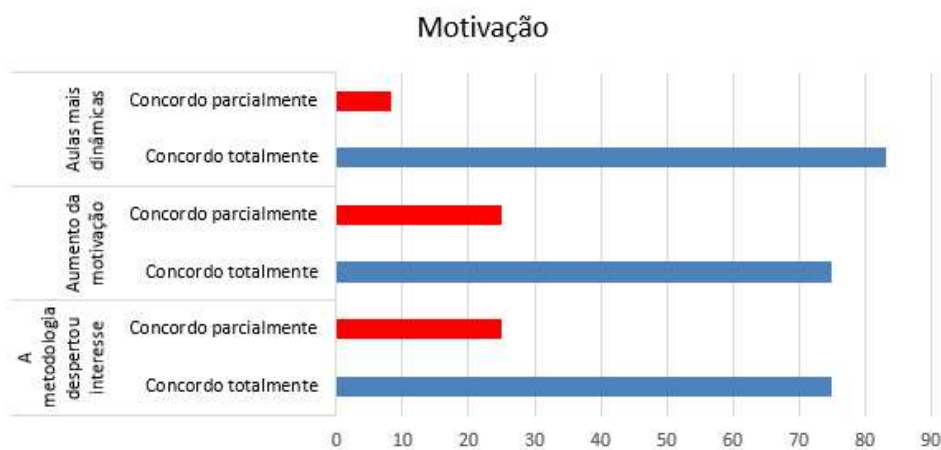
Dessa forma, reconhecemos que a sequência didática contribuiu significativamente para a aprendizagem dos estudantes, favorecendo a construção de conhecimentos mais estruturados e significativos.

6.3 Análise Questionário sobre a metodologia aplicada

Ao analisarmos as respostas do questionário sobre a metodologia aplicada, identificamos elementos relevantes que nos permitem compreender, de forma mais aprofundada, os impactos da metodologia utilizada ao longo da sequência didática.

Inicialmente, observamos um aumento significativo no interesse dos estudantes pelas aulas de Física, mesmo entre aqueles que anteriormente afirmavam não gostar da disciplina.

Figura 18 - Análise da motivação dos estudantes.

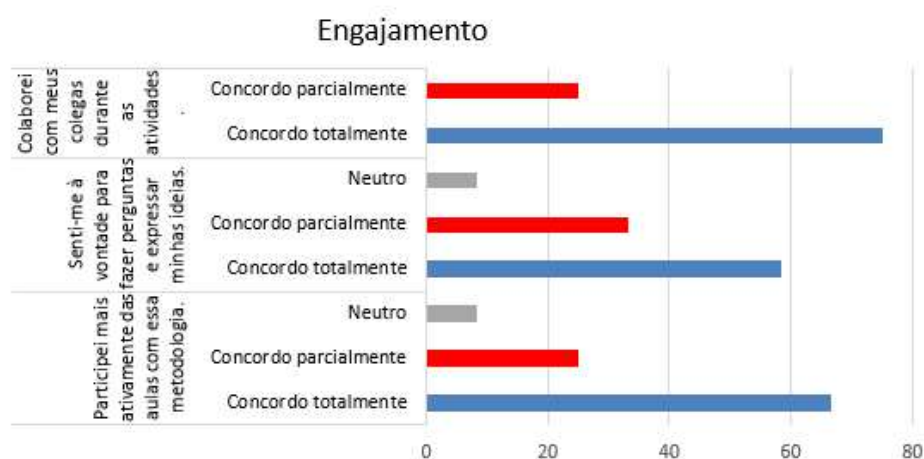


Fonte: Questionário sobre a metodologia aplicada.

Esse resultado indica que a metodologia foi capaz de mobilizar aspectos afetivos importantes para a aprendizagem, favorecendo a predisposição em aprender — condição essencial para a ocorrência da aprendizagem significativa. Nesse sentido, David Ausubel afirma que “o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe” (Ausubel, 2003, p. 4), destacando a importância da disposição e das estruturas cognitivas prévias no processo de aprendizagem.

No que se refere ao engajamento, verificamos que os estudantes participaram mais ativamente das aulas, perceberam-nas como mais dinâmicas e sentiram-se mais à vontade para expressar dúvidas e ideias .

Figura 19 – Análise do engajamento dos estudantes.

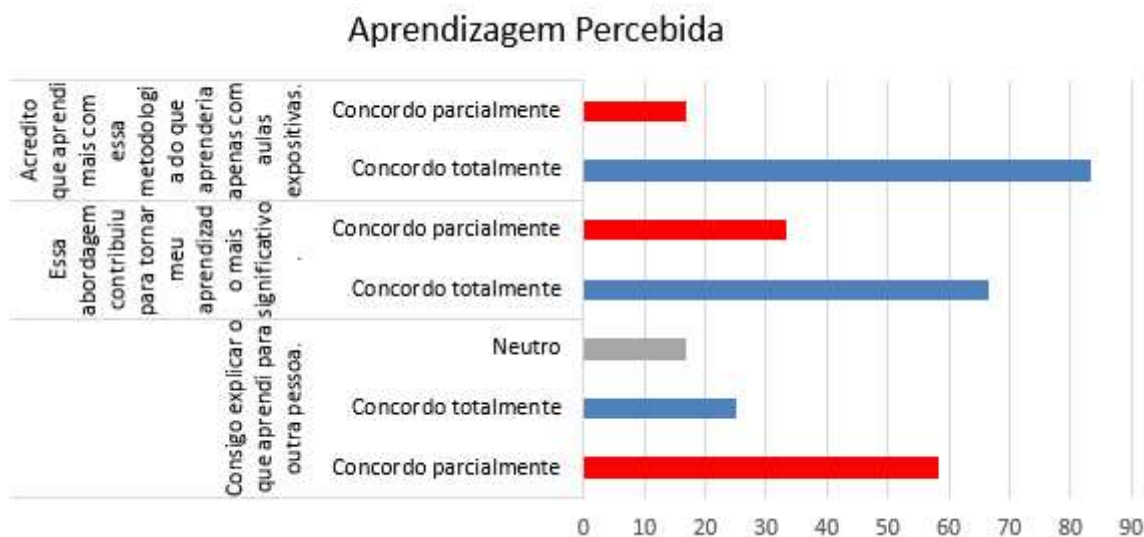


Fonte: Questionário sobre a metodologia aplicada.

Esses dados evidenciam que a proposta didática rompeu com a lógica tradicional de ensino centrada na transmissão de conteúdos, promovendo um ambiente mais interativo e participativo. De acordo com Antoni Zabala, “ensinar exige propor atividades que permitam aos alunos estabelecer relações e construir significados” (Zabala, 1998, p. 37), o que reforça a importância de metodologias que promovam a participação ativa.

Além disso, constatamos que os estudantes colaboraram entre si e demonstraram capacidade de explicar o que aprenderam, o que revela não apenas participação, mas também compreensão dos conteúdos .

Figura 20 – Análise da Aprendizagem percebida pelos estudantes.

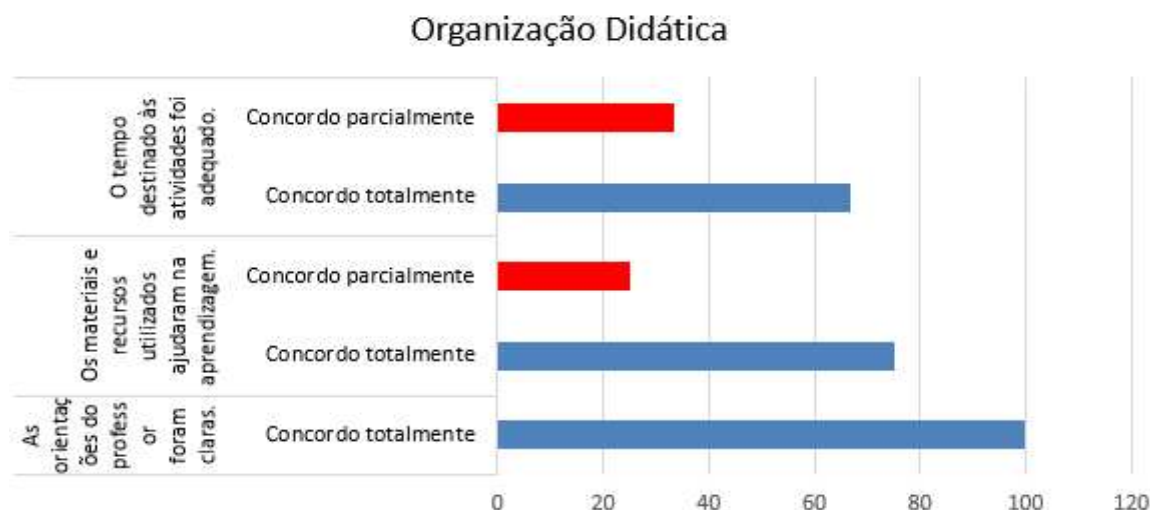


Fonte: Questionário sobre a metodologia aplicada.

Quando o estudante consegue explicar um conceito a outra pessoa, evidencia-se que o conhecimento foi internalizado de maneira significativa. Nessa perspectiva, Marco Antonio Moreira destaca que “a aprendizagem significativa ocorre quando o aprendiz atribui significados aos conhecimentos, sendo capaz de utilizá-los em diferentes contextos” (MOREIRA, 2011, p. 26).

No que diz respeito à organização didática, observamos uma avaliação amplamente positiva quanto à clareza das orientações do professor e à adequação dos materiais e recursos utilizados.

Figura 21 – Análise da Organização didática pelos estudantes.

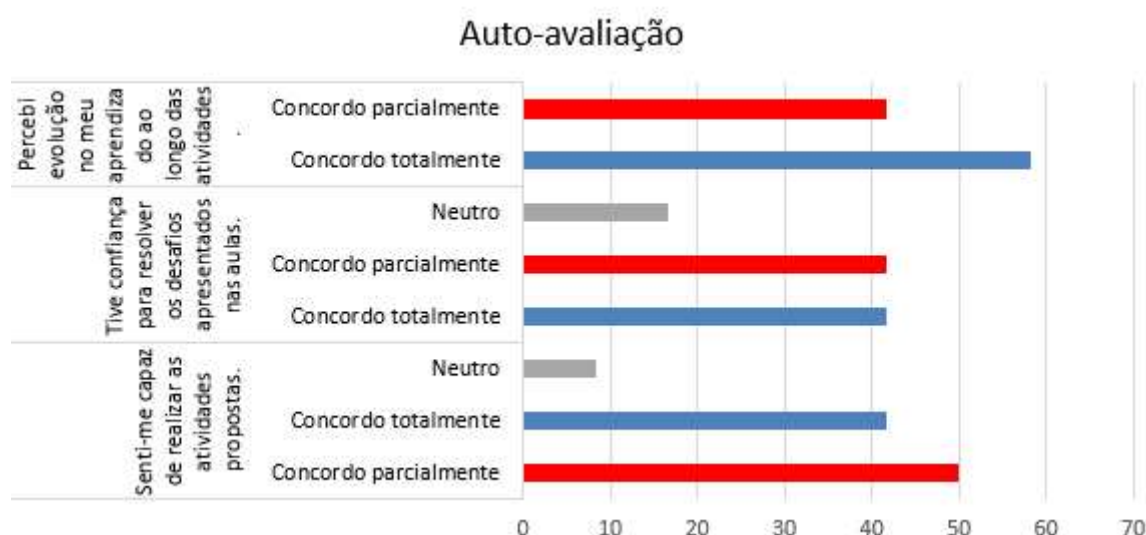


Fonte: Questionário sobre a metodologia aplicada.

Essa percepção indica que a sequência didática foi estruturada de forma coerente, com encadeamento lógico das atividades e intencionalidade pedagógica bem definida. Conforme ressalta Zabala, “uma sequência didática deve apresentar uma organização que permita a progressiva construção do conhecimento” (Zabala, 1998, p. 18).

Em relação à autoavaliação, identificamos que os estudantes passaram a se perceber mais capazes de realizar as atividades propostas, bem como mais confiantes para enfrentar os desafios apresentados. Além disso, constatamos que houve percepção clara de evolução ao longo da sequência didática.

Figura 22 – Análise da Auto-avaliação dos estudantes.



Fonte: Questionário sobre a metodologia aplicada.

Esse resultado pode ser compreendido à luz da aprendizagem significativa, uma vez que, segundo Ausubel, “a aprendizagem com significado implica compreensão e não simples memorização” (Ausubel, 2003, p. 58).

Ao analisarmos os dados referentes à avaliação global da sequência didática, observamos resultados amplamente positivos, os quais evidenciam a efetividade da proposta no ensino dos conceitos de equilíbrio das forças.

Inicialmente, ao avaliarmos a utilidade das atividades experimentais para a compreensão dos conceitos trabalhados, verificamos que 58,3% dos estudantes classificaram-nas como “muito boa” e 41,7% como “boa”, não havendo avaliações negativas. Esse resultado indica uma aceitação unânime quanto à relevância da experimentação no

processo de aprendizagem, reforçando seu papel como elemento central na construção do conhecimento em Física.

No que se refere ao impacto dos experimentos virtuais no interesse pela disciplina, constatamos que 50% dos estudantes afirmaram que essas atividades aumentam muito seu interesse, enquanto 41,7% indicaram aumento moderado e apenas 8,3% relataram não perceber mudanças. Esses dados demonstram que, para 91,7% dos participantes, os recursos virtuais atuam como fator de engajamento, contribuindo para tornar as aulas mais atrativas e dinâmicas.

Em relação à confiança no próprio aprendizado, observamos que 33,3% dos estudantes se sentem muito mais confiantes e 41,7% mais confiantes ao realizar atividades experimentais, totalizando 75% com percepção positiva, enquanto 25% afirmaram que essas atividades não fazem diferença em sua confiança. Esse resultado evidencia que a experimentação favorece o desenvolvimento da autonomia e da segurança na aprendizagem, embora indique a necessidade de estratégias adicionais para contemplar todos os perfis de estudantes.

Por outro lado, ao analisarmos a percepção de inclusão das atividades experimentais de eletromagnetismo, identificamos um ponto de atenção relevante. Apenas 16,7% dos estudantes consideraram as atividades totalmente inclusivas e 25% parcialmente inclusivas, enquanto 16,7% avaliaram como pouco inclusivas e 41,7% afirmaram que não são inclusivas. Assim, verificamos que a maioria dos estudantes (58,4%) percebe limitações na inclusão, o que evidencia a necessidade de ajustes na proposta didática, visando garantir maior acessibilidade e participação de todos os alunos, especialmente aqueles com necessidades específicas.

No que diz respeito à combinação entre experimentos reais e virtuais, os resultados mostram uma aceitação integral, uma vez que 58,3% dos estudantes avaliaram essa integração como positiva e 41,7% como muito positiva. Esse dado reforça a importância da abordagem híbrida, que amplia as possibilidades de visualização, experimentação e compreensão dos fenômenos físicos.

Além disso, ao investigarmos o interesse dos estudantes em utilizar outros experimentos virtuais em diferentes conteúdos de Física, verificamos que 75% responderam “sim, com certeza” e 25% “sim, pode ser”, não havendo respostas negativas. Esse resultado evidencia não apenas a aceitação da metodologia, mas também o desejo de continuidade e ampliação dessa abordagem no ensino da disciplina.

De forma geral, os resultados desta sessão indicam que a sequência didática desenvolvida foi eficaz ao promover maior interesse, engajamento, confiança e compreensão dos conteúdos por parte dos estudantes. Destacamos, especialmente, o papel significativo das atividades experimentais — tanto reais quanto virtuais — como mediadoras do processo de aprendizagem. No entanto, a análise também revela a necessidade de aprimoramento no que se refere à inclusão, apontando caminhos para o aperfeiçoamento da proposta em futuras aplicações.

As respostas abertas reforçam esses resultados, uma vez que os estudantes destacam o caráter dinâmico das aulas, a facilidade de compreensão dos conteúdos e o aumento do interesse pela Física. Observamos, ainda, uma mudança na relação dos alunos com a disciplina, anteriormente percebida como difícil, passando a ser compreendida de forma mais acessível e significativa.

Entretanto, ao analisarmos as respostas relacionadas à inclusão, identificamos que nem todos os estudantes percebem as atividades como plenamente inclusivas. Esse dado evidencia a necessidade de aprimorar a proposta metodológica, incorporando estratégias que contemplem melhor a diversidade de estudantes. Tal reflexão é coerente com a perspectiva de ensino defendida por Zabala, ao afirmar que “a prática educativa deve considerar a diversidade dos alunos e adaptar-se a ela” (Zabala, 1998, p. 34).

De modo geral, compreendemos que a metodologia aplicada contribuiu significativamente para o aumento da motivação, para a promoção do engajamento, para o favorecimento da aprendizagem significativa e para o fortalecimento da confiança dos estudantes em seu próprio processo de aprendizagem. Esses resultados, quando articulados aos dados do pré-teste e pós-teste, reforçam a eficácia da sequência didática e evidenciam seu potencial como estratégia pedagógica no ensino de Física.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do simulador contribuiu de forma significativa para a visualização e manipulação dos vetores, permitindo-nos favorecer a compreensão do princípio do paralelogramo de forças. Mesmo diante de limitações técnicas, conseguimos adaptar a atividade para dispositivos móveis, o que garantiu sua continuidade e evidenciou o papel fundamental da mediação docente e da flexibilidade metodológica. Observamos que a interação entre os estudantes e o ambiente digital potencializou a construção de significados, em consonância com os pressupostos da aprendizagem significativa.

Ao articularmos o experimento virtual com o experimento real, evidenciamos uma estratégia didática particularmente potente, pois possibilitamos aos estudantes transitar entre um modelo idealizado e a complexidade do fenômeno físico concreto. Ao identificarmos discrepâncias entre os resultados obtidos, favorecemos a compreensão do papel dos erros experimentais e das limitações dos modelos, contribuindo para o desenvolvimento de uma aprendizagem mais crítica e significativa.

Nesta pesquisa, buscamos analisar as contribuições de uma sequência didática fundamentada no uso de atividades experimentais reais e virtuais para o ensino do equilíbrio dos corpos no contexto da educação básica. A partir dos resultados obtidos, constatamos que a proposta pedagógica desenvolvida se mostrou eficaz ao favorecer a aprendizagem dos estudantes, promovendo avanços tanto no desempenho conceitual quanto na forma como eles se relacionam com o processo de aprendizagem em Física.

Ao analisarmos os dados do pré-teste, identificamos a presença de dificuldades conceituais iniciais, o que indicou lacunas no entendimento dos conteúdos abordados. Após a intervenção, verificamos, por meio dos resultados do pós-teste, uma evolução significativa, o que nos permite afirmar que a sequência didática contribuiu para a construção e reorganização dos conhecimentos dos estudantes.

Entendemos, no entanto, que o principal diferencial desta pesquisa reside na articulação entre os dados de desempenho e as percepções dos estudantes. Ao analisarmos os resultados do questionário, identificamos elevados níveis de motivação, engajamento, participação e percepção de aprendizagem significativa, o que reforça que o processo de ensino-aprendizagem foi não apenas eficaz, mas também significativo para os alunos.

À luz da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (1968), compreendemos que a metodologia adotada favoreceu a ancoragem de novos conhecimentos aos subsunçores já existentes na estrutura cognitiva dos estudantes. De forma complementar, apoiamo-nos na perspectiva de Marco Antonio Moreira (2011; 2018) para interpretar que a aprendizagem observada ultrapassou o nível mecânico, aproximando-se de uma aprendizagem significativa crítica.

Destacamos, ainda, a utilização de atividades experimentais, especialmente a integração entre experimentos reais e virtuais, como um dos elementos centrais para o sucesso da proposta. Observamos que essa combinação promoveu um ambiente de aprendizagem mais dinâmico, interativo e acessível, além de aproximar os conceitos físicos da realidade dos estudantes, favorecendo sua compreensão e despertando maior interesse pela disciplina.

No que se refere aos objetivos da pesquisa, consideramos que foram plenamente alcançados, uma vez que conseguimos evidenciar:

- a melhoria no desempenho dos estudantes;
- o aumento da motivação e do engajamento;
- a promoção de uma aprendizagem mais significativa;
- a eficácia da sequência didática como estratégia pedagógica.

Apesar dos resultados positivos, reconhecemos algumas limitações nesta pesquisa. Destacamos o número reduzido de participantes (apenas uma turma) e o tempo de duração da intervenção, fatores que podem restringir a generalização dos resultados. Além disso, identificamos que a percepção de inclusão nas atividades não foi unânime, o que nos indica a necessidade de aprimorar as estratégias didáticas, de modo a atender de forma mais efetiva à diversidade dos estudantes.

Como implicações pedagógicas, defendemos a importância da adoção de práticas que integrem experimentação e recursos digitais no ensino de Física, especialmente no trabalho com conceitos abstratos, como o equilíbrio. Consideramos que tais estratégias se mostram promissoras para tornar o ensino mais significativo, participativo e contextualizado.

Para pesquisas futuras, sugerimos a ampliação da amostra, a aplicação da sequência didática em diferentes contextos educacionais e o aprofundamento das investigações sobre inclusão e acessibilidade nas atividades experimentais.

Por fim, concluímos que a proposta desenvolvida contribui não apenas para a melhoria da aprendizagem em Física, mas também para a transformação da experiência dos estudantes em sala de aula, ao promover maior interesse, autonomia e protagonismo no processo de construção do conhecimento.

REFERÊNCIAS

- Ausubel, David P. **Aquisição e retenção de conhecimentos**: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano, 2003.
- Ausubel, David P. **Psicologia educacional**. Tradução de Eva Nick. Rio de Janeiro: Interamericana, 2000.
- COSTA, Jarbio da Silva. **Laboratórios virtuais para o ensino das Leis de Newton**. 2021. 115 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.
- FREITAS, Alessandro; SILVA FILHO, Olavo Leopoldino da; FERREIRA, Marcello. Ensino de vetores com o experimento “Roda de Vetores”. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, p. 396-409, 2019.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**, volume 1: mecânica. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- HEWITT, Paul G. **Física conceitual**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem significativa**: a teoria e textos complementares. Brasília: Editora UnB, 2006.
- MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem significativa**: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Centauro, 2011.
- NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de física básica**, 1: mecânica. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2013.
- SANTOS, Cleydson Gomes dos. **Ambiente virtual de aprendizagem (Moodle) para o ensino das Leis de Newton**. 2020. 153 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2020.
- SILVA, Adeilton Nascimento da. **Aplicativo educacional para o ensino das Leis de Newton**. 2019. 74 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.
- SILVA, Frederico Jordão Montijo da. **Ensino de inércia e equilíbrio**. 2015. 64 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2015.
- TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros**: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física I**: mecânica. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.
- Zabala, Antoni. **A prática educativa**: como ensinar. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICE A – PRÉ E PÓS TESTE

PRÉ/PÓS - TESTE

As questões elaboradas para nosso Pré/pós - teste foram divididas a fim de contemplar todo o conteúdo abordado na Sequência Didática, segundo a divisão abaixo:

Divisão das Questões:

- I. Conceito de Força (3 Questões)
- II. Representação Vetorial (3 Questões)
- III. Operações com Vetores (4 Questões)
- IV. Equilíbrio de Forças (5 Questões)

Descrição das Questões

- Questão 1: Natureza da Força e Unidade (AS: Relação com o Conhecimento Prévio)
 - Questão 2: Força como Grandeza Vetorial (AS: Diferenciação de Conceitos)
 - Questão 3: Tipos de Forças e Ocorrência (AS: Assimilação e Aplicação Contextual)
 - Questão 4: Elementos de um Vetor (AS: Foco na Representação)
 - Questão 5: Interpretação de Componentes (AS: Decomposição em Eixos)
 - Questão 6: Representação Gráfica e Sentido (AS: Visualização Vetorial)
 - Questão 7: Regra da Soma Vetorial (AS: Aplicando a Regra do Polígono/Paralelogramo)
 - Questão 8: Módulo da Resultante de Vetores Perpendiculares (AS: Aplicação do Teorema)
 - Questão 9: Condições para Soma Máxima e Mínima (AS: Análise das Condições)
 - Questão 10: Adição de Múltiplos Vetores (AS: Conceito de Vetores Cíclicos)
 - Questão 11: Condição de Equilíbrio Translacional (AS: Definição Formal)
 - Questão 12: Equilíbrio Dinâmico vs. Estático (AS: Diferenciação de Estados)
 - Questão 13: Análise de Equilíbrio em 2D (AS: Síntese de Componentes)
 - Questão 14: O Equilíbrio Estático e o Cancelamento de Forças (AS: Ancoragem em Conhecimentos Prévios)
 - Questão 15: Consequência da Força Resultante Diferente de Zero (AS: Leis de Newton)
- AS - Aprendizagem significativa

QUESTÕES PRÉ/PÓS - TESTE

Questão 1: Um estudante levanta sua mochila do chão. Na Física, a interação entre a mão do estudante e a mochila é descrita pelo conceito de força. Assinale a alternativa que define corretamente o que é força e sua unidade no Sistema Internacional (SI).

- a) Força é uma energia capaz de gerar calor, medida em Joules (J).
- b) Força é a quantidade de matéria em um corpo, medida em quilogramas (kg).
- c) Força é uma grandeza que só possui módulo, atuando na atração gravitacional, medida em Coulombs (C).
- d) Força é a causa que pode manter ou modificar o estado de movimento ou repouso de um corpo, ou causar deformação, medida em Newtons (N).
- e) Força é a capacidade de um corpo se manter em movimento retilíneo, medida em metros por segundo (m/s).

Questão 2: Por que a Força é classificada como uma **grandeza vetorial**, diferentemente de grandezas como Tempo e Massa (escalares)?

- a) Porque seu valor (módulo) é sempre positivo, o que não ocorre com as grandezas escalares.
- b) Porque é medida pelo produto da massa pela aceleração ($F = m \cdot a$), e a massa é um escalar.
- c) Porque ela se combina algebricamente através de somas e subtrações simples, como o tempo.
- d) Porque, além do seu valor (módulo), ela precisa de direção e sentido para ser completamente descrita.
- e) Porque ela só existe no planeta Terra e depende da atração gravitacional.

Questão 3: Qual par de forças atua sobre um livro que está em repouso sobre uma mesa horizontal?

- a) Força Peso (para baixo) e a Força de Atrito (oposta ao movimento).
- b) Força de Tração (do cabo) e Força Peso (para baixo).
- c) Força Elástica (da mola) e Força Normal (perpendicular à superfície).
- d) Força Peso (atração da Terra) e Força Normal (reação da superfície).
- e) Força de Ação e Reação (Terceira Lei de Newton) que se anulam na mesa.

Questão 4: A representação de uma força F por um vetor exige a identificação de três elementos essenciais:

- a) Inércia, Módulo e Direção.
- b) Origem, Ponto e Coordenada.
- c) Módulo (Intensidade), Direção e Sentido.
- d) Massa, Aceleração e Velocidade.
- e) Componente X, Componente Y e Componente Z.

Questão 5: Uma força F de 100N é aplicada em uma caixa, formando um ângulo de 60° com a horizontal (eixo x). Qual o significado físico da componente horizontal (F_x) dessa força?

- a) É a força que anula o peso da caixa, garantindo o equilíbrio vertical.
- b) É a força total que atua na caixa, independentemente do ângulo de aplicação.
- c) É a força que o corpo sente ao tentar escapar da trajetória, devido à inércia.
- d) É a parte da força total F que é efetiva para causar movimento na direção horizontal.
- e) É sempre nula, pois a caixa só pode se mover na direção da força total aplicada.

Questão 6: Dois vetores, $\vec{A}$ e $\vec{B}$, têm o mesmo módulo (valor numérico) e a mesma direção (vertical), mas representam forças com sentidos opostos (um para cima e outro para baixo). Qual a relação vetorial correta entre eles?

- a) $\vec{A} = \vec{B}$
- b) $\vec{A} = -\vec{B}$
- c) $|\vec{A}| \neq |\vec{B}|$
- d) $\vec{A} + \vec{B} = 2\vec{A}$
- e) $\vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}| \cdot |\vec{B}|$

Questão 7: A soma de dois vetores

$\vec{A}$ e $\vec{B}$ é o vetor resultante $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B}$. Graficamente, se usarmos a "regra do polígono",

como o **vetor resultante** é traçado?

- a) Unindo a origem de $\vec{A}$ com a origem de $\vec{B}$.
- b) Unindo a extremidade de $\vec{B}$ com a extremidade de $\vec{A}$.
- c) Unindo a extremidade de $\vec{A}$ com a origem de $\vec{B}$.
- d) Unindo a origem do primeiro vetor ($\vec{A}$) à extremidade do último vetor ($\vec{B}$).
- e) Traçando uma linha a partir do ponto médio entre $\vec{A}$ e $\vec{B}$.

Questão 8: Duas forças, $\vec{F}_1(3N, horizontal)$ e $\vec{F}_2(4N, vertical)$, atuam simultaneamente sobre um corpo. Qual o módulo da força resultante $\vec{R}$?

- a) 1N
- b) 3,5N
- c) 5N
- d) 7N
- e) 12N

Questão 9: Dois vetores de módulos $5u$ e $10u$ são somados. Qual o **único** valor que o módulo do vetor resultante $\vec{R}$ **não pode** assumir?

- a) $5u$
- b) $15u$
- c) $12u$
- d) $8u$
- e) $17u$

Questão 10: Quatro vetores $\vec{A}$, $\vec{B}$, $\vec{C}$ e $\vec{D}$ são dispostos em sequência (ponta-cauda) e formam um polígono fechado. O vetor $\vec{D}$ volta para a origem do primeiro vetor. Qual o módulo da soma vetorial $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C} + \vec{D}$?

- a) $\vec{R} = |\vec{A}| + |\vec{B}| + |\vec{C}| + |\vec{D}|$
- b) $\vec{R}$ = módulo do vetor mais longo
- c) O módulo é 4.
- d) O módulo é a soma das diagonais.
- e) O módulo da resultante é zero (vetor nulo).

Questão 11: Segundo a Primeira Lei de Newton, um corpo está em **Equilíbrio Translacional** quando:

- a) A força resultante (soma vetorial de todas as forças) que atua sobre ele é nula $\Sigma \vec{F} = 0$.
- b) Ele está parado e não sofre a ação de nenhuma força.
- c) Sua velocidade está diminuindo, indicando que a inércia está agindo.
- d) A soma de todas as forças que agem sobre ele é igual à sua massa.
- e) Ele está se movendo, mas a soma de todas as forças é positiva.

Questão 12: Qual a principal diferença entre o **Equilíbrio Estático** e o **Equilíbrio Dinâmico**?

- a) O equilíbrio dinâmico ocorre apenas no espaço, e o estático, na Terra.
- b) No estático a Força Resultante é nula, e no dinâmico, é constante e não nula.
- c) Ambos têm Força Resultante nula, mas o estático envolve velocidade nula (repouso) e o dinâmico envolve velocidade constante e diferente de zero.
- d) O estático tem aceleração nula, e o dinâmico tem aceleração constante.
- e) O equilíbrio estático exige torque nulo, e o dinâmico não.

Questão 13: Um objeto está pendurado por dois cabos, formando um ângulo agudo entre si. Sabendo que o objeto está em repouso, a condição para o equilíbrio é:

- a) O módulo de cada força de tração ($\vec{T}_1$, $\vec{T}_2$) deve ser igual ao Peso ($\vec{P}$).
- b) Apenas a soma dos módulos das forças é o suficiente para anular o Peso.

- c) O Peso ($\vec{P}$) é nulo, pois o objeto está parado.
- d) A soma dos módulos das trações é sempre maior que o Peso.
- e) A soma vetorial da Força Peso ($\vec{P}$) e das duas Forças de Tração ($\vec{T}_1 + \vec{T}_2$) resulta no vetor nulo ($\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{P} = 0$).

Questão 14: Imagine a situação: você empurra uma caixa pesada no chão e ela permanece parada (em repouso). Se você está aplicando uma força, por que a caixa não se move?

- a) Porque a força da sua mão é anulada pela massa total da caixa.
- b) Porque a força que você aplica é "cancelada" pela força de atrito entre a caixa e o chão.
- c) Porque em objetos parados a gravidade deixa de atuar temporariamente.
- d) Porque a caixa possui uma força interna que impede qualquer movimento.
- e) Porque o ar ao redor da caixa empurra ela no sentido contrário com a mesma intensidade.

Questão 15: Se a soma vetorial de todas as forças que atuam sobre um corpo é diferente de zero ($\vec{\Sigma F} \neq 0$), qual a consequência imediata, de acordo com a Segunda Lei de Newton?

- a) O corpo deve se mover com velocidade constante.
- b) O corpo deve se manter em repouso (equilíbrio estático).
- c) O corpo tenderá a manter seu estado de movimento (inércia).
- d) O corpo deve adquirir uma aceleração que possui a mesma direção e sentido da força resultante ($\vec{a} = \frac{\vec{\Sigma F}}{m}$).
- e) O corpo deve sofrer uma força de reação de mesma intensidade e sentido oposto.

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO SOBRE A METODOLOGIA APLICADA

Instrumento de avaliação da metodologia utilizada na sequência didática. Leia atentamente cada afirmação e marque a alternativa que melhor representa sua opinião.

1. Idade: _____

2. Série/Turma: _____

DIMENSÃO 1 — MOTIVAÇÃO

3. A metodologia utilizada despertou meu interesse pelas aulas.

- () Discordo totalmente
- () Discordo parcialmente
- () Nem concordo nem discordo
- () Concordo parcialmente
- () Concordo totalmente

4. Senti-me mais motivado(a) para aprender com essa abordagem utilizada na sequência didática.

- () Discordo totalmente
- () Discordo parcialmente
- () Nem concordo nem discordo
- () Concordo parcialmente
- () Concordo totalmente

DIMENSÃO 2 — ENGAJAMENTO

5. As aulas ficaram mais dinâmicas do que as aulas tradicionais.

- () Discordo totalmente
- () Discordo parcialmente
- () Nem concordo nem discordo
- () Concordo parcialmente
- () Concordo totalmente

6. Participei mais ativamente das aulas com essa metodologia.

- () Discordo totalmente
- () Discordo parcialmente

- ☐) Nem concordo nem discordo
- ☐) Concordo parcialmente
- ☐) Concordo totalmente

7. Senti-me à vontade para fazer perguntas e expressar minhas ideias.

- ☐) Discordo totalmente
- ☐) Discordo parcialmente
- ☐) Nem concordo nem discordo
- ☐) Concordo parcialmente
- ☐) Concordo totalmente

8. Colaborei com meus colegas durante as atividades.

- ☐) Discordo totalmente
- ☐) Discordo parcialmente
- ☐) Nem concordo nem discordo
- ☐) Concordo parcialmente
- ☐) Concordo totalmente

DIMENSÃO 3 — APRENDIZAGEM PERCEBIDA

9. Consigo explicar o que aprendi para outra pessoa.

- ☐) Discordo totalmente
- ☐) Discordo parcialmente
- ☐) Nem concordo nem discordo
- ☐) Concordo parcialmente
- ☐) Concordo totalmente

10. Essa abordagem contribuiu para tornar meu aprendizado mais significativo.

- ☐) Discordo totalmente
- ☐) Discordo parcialmente
- ☐) Nem concordo nem discordo
- ☐) Concordo parcialmente
- ☐) Concordo totalmente

11. Acredito que aprendi mais com essa metodologia do que aprenderia apenas com aulas expositivas.

- ☐ () Discordo totalmente
- ☐ () Discordo parcialmente
- ☐ () Nem concordo nem discordo
- ☐ () Concordo parcialmente
- ☐ () Concordo totalmente

DIMENSÃO 4 — ORGANIZAÇÃO DIDÁTICA

12. As orientações do professor foram claras.

- ☐ () Discordo totalmente
- ☐ () Discordo parcialmente
- ☐ () Nem concordo nem discordo
- ☐ () Concordo parcialmente
- ☐ () Concordo totalmente

13. Os materiais e recursos utilizados ajudaram na aprendizagem.

- ☐ () Discordo totalmente
- ☐ () Discordo parcialmente
- ☐ () Nem concordo nem discordo
- ☐ () Concordo parcialmente
- ☐ () Concordo totalmente

14. O tempo destinado às atividades foi adequado.

- ☐ () Discordo totalmente
- ☐ () Discordo parcialmente
- ☐ () Nem concordo nem discordo
- ☐ () Concordo parcialmente
- ☐ () Concordo totalmente

DIMENSÃO 5 — AUTOAVALIAÇÃO

15. Senti-me capaz de realizar as atividades propostas.

- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Nem concordo nem discordo
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Concordo totalmente

16. Tive confiança para resolver os desafios apresentados nas aulas.

- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Nem concordo nem discordo
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Concordo totalmente

17. Percebi evolução no meu aprendizado ao longo das atividades.

- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Nem concordo nem discordo
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Concordo totalmente

AValiação Global

18. Como você avalia a utilidade das atividades experimentais para o entendimento dos conceitos de Equilíbrio?

- ☐ Muito ruim
- ☐ Ruim
- ☐ Regular
- ☐ Boa
- ☐ Muito boa

19. A possibilidade de realizar atividades experimentais virtuais nas aulas de física desperta mais seu interesse pela matéria?

- ☐ Sim, muito
- ☐ Sim, um pouco

☐ Não muda meu interesse

☐ Diminui meu interesse

20. Você se sente mais confiante em seu aprendizado quando realiza atividades experimentais em física?

☐ Muito mais confiante

☐ Mais confiante

☐ Não faz diferença

☐ Menos confiante

21. Você acredita que as atividades experimentais de eletromagnetismo são inclusivas para todos os alunos, incluindo aqueles com necessidades especiais?

☐ Sim, totalmente inclusivas

☐ Sim, em parte inclusivas

☐ Pouco inclusivas

☐ Não são inclusivas

22. Qual é a sua opinião sobre a combinação de atividades com experimentos reais e virtuais nas aulas de física?

☐ Muito positiva

☐ Positiva

☐ Indiferente

☐ Negativa

23. Você gostaria de utilizar outros experimentos virtuais para estudar outros conteúdos de física?

☐ Sim, com certeza

☐ Sim, pode ser

☐ Não tenho certeza

☐ Não, não ajudam

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

CARIN ROCHANE COSTA DE ARAÚJO

DESENVOLVIMENTO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE EQUILÍBRIO DE FORÇAS COMO MATERIAL DE APOIO PARA PROFESSORES E ALUNOS DO ENSINO MÉDIO

Produto Educacional apresentada ao Polo 43 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Nildo Loiola Dias

FORTALEZA - CEARÁ
2026

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	3
2. INTRODUÇÃO	3
3. OBJETIVOS EDUCACIONAIS	4
3.1. Objetivo Geral	4
3.2. Objetivos Específicos	4
4. AULAS	5
MÓDULO 1 — Sensibilização e levantamento de conhecimentos prévios	5
Objetivos	5
Materiais	5
Aplicação	5
Cronograma da Aula	5
MÓDULO 2 — Introdução ao conceito de força e vetor e Equilíbrio	9
Objetivo	9
Materiais	9
Aplicação	9
Cronograma da Aula	9
MÓDULO 3 — Equilíbrio em duas dimensões (Simulação)	11
Objetivo	11
Materiais	11
Aplicação	11
Cronograma da Aula	11
EQUILÍBRIO DE UMA PARTÍCULA - EXPERIMENTO VIRTUAL	13
MÓDULO 4 — Experimento real	17
Objetivo	17
Materiais	17

Montagem	17
Aplicação	17
Cronograma da Aula	17
MÓDULO 5 — Avaliação e fechamento	22
Objetivo	22
PRÉ/PÓS - TESTE	24
QUESTÕES PRÉ/PÓS - TESTE	26
QUESTIONÁRIO SOBRE A METODOLOGIA APLICADA	31
PERGUNTAS	36

1. APRESENTAÇÃO

Caro(a) professor(a),

Este Produto Educacional foi desenvolvido com o objetivo de auxiliar professores do Ensino Médio no ensino do conteúdo de Equilíbrio de Forças, por meio de uma sequência didática fundamentada na Aprendizagem Significativa.

A proposta busca superar dificuldades recorrentes no ensino de Física, especialmente aquelas relacionadas à abstração dos conceitos e à desconexão com situações do cotidiano, promovendo atividades que articulam teoria, experimentação e simulação.

As atividades foram planejadas para favorecer o protagonismo dos estudantes, a construção ativa do conhecimento e a integração entre diferentes formas de representação (conceitual, matemática e visual).

Espera-se que este material possa contribuir para práticas pedagógicas mais dinâmicas, contextualizadas e eficazes.

2. INTRODUÇÃO

O ensino de Física no Ensino Médio ainda apresenta desafios significativos, especialmente no que se refere à compreensão de conceitos abstratos e à dificuldade de relacioná-los com situações do cotidiano dos estudantes. Entre esses conteúdos, destaca-se o tema de equilíbrio de forças, frequentemente abordado de forma excessivamente matemática e descontextualizada.

Diante desse cenário, este Produto Educacional foi desenvolvido a partir de uma sequência didática estruturada, fundamentada na teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por David Ausubel. A proposta busca promover a construção do conhecimento a partir dos saberes prévios dos alunos, estabelecendo conexões entre o conhecimento científico e as experiências vivenciadas no dia a dia.

A sequência didática foi organizada em etapas progressivas, iniciando com a sensibilização e levantamento dos conhecimentos prévios, por meio de perguntas âncora relacionadas a situações cotidianas, como empurrar objetos, cabo de guerra e o movimento de um avião. Essa etapa tem como finalidade identificar concepções iniciais dos estudantes e utilizá-las como ponto de partida para a construção dos novos conceitos.

Em seguida, são introduzidos os conceitos formais de força como grandeza vetorial, destacando seus elementos (módulo, direção e sentido), bem como as condições de equilíbrio.

Essa abordagem busca superar limitações observadas nas respostas iniciais dos alunos, especialmente no que diz respeito à necessidade de uma representação mais precisa das forças.

Na etapa seguinte, os alunos exploram o conceito de equilíbrio em duas dimensões por meio de um experimento virtual, no qual manipulam forças e analisam suas componentes horizontais e verticais. Essa atividade possibilita a visualização do conceito de força resultante nula e favorece a integração entre representação matemática e interpretação física.

Posteriormente, é realizada uma atividade experimental com o uso de um aparato físico, permitindo que os alunos validem, na prática, as condições de equilíbrio previamente estudadas. A comparação entre os resultados obtidos no ambiente virtual e no experimento real contribui para a consolidação dos conceitos e para a compreensão de possíveis discrepâncias decorrentes de fatores experimentais.

Por fim, a sequência didática é concluída com a aplicação de um pós-teste e a realização de uma discussão coletiva, permitindo avaliar a evolução da aprendizagem e promover a síntese dos conhecimentos construídos ao longo das atividades.

Dessa forma, este produto educacional propõe uma abordagem que articula teoria, simulação e experimentação, favorecendo uma aprendizagem mais significativa, contextualizada e participativa no ensino de Física.

3. OBJETIVOS EDUCACIONAIS

3.1. Objetivo Geral

Promover a Aprendizagem Significativa do conceito de Equilíbrio Translacional, permitindo que o aluno seja capaz de compreender, analisar, representar vetorialmente e calcular a resultante de forças atuantes em um corpo.

3.2. Objetivos Específicos

- Definir Força como uma grandeza vetorial e identificar seus elementos (módulo, direção e sentido).
- Representar graficamente forças a partir da notação vetorial.
- Aplicar os métodos de soma vetorial (polígono ou paralelogramo) para determinar a Força Resultante.
- Diferenciar o Equilíbrio Estático (repouso) do Equilíbrio Dinâmico (velocidade constante).
- Utilizar um aparato experimental para validar os conceitos abordados anteriormente.
- Utilizar um ambiente virtual para testar a condição de Equilíbrio em múltiplas dimensões, reconciliando o conceito teórico com a visualização.

4. AULAS

MÓDULO 1 — Sensibilização e levantamento de conhecimentos prévios

Objetivos

Identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre força e equilíbrio.

Apresentar a finalidade da pesquisa e da Sequência Didática.

Realizar o levantamento dos conhecimentos prévios (Sondagem) através de uma roda de conversa.

Aplicar o pré-teste para diagnóstico inicial.

Preparar o terreno para a introdução do conceito formal de Vetor na Aula 02.

Materiais

- Questionário pré-teste
- Perguntas âncora
- Quadro ou projetor

Aplicação

O professor inicia a aula apresentando os objetivos da atividade e conduz uma roda de conversa com base em situações do cotidiano (ex.: empurrar uma caixa, cabo de guerra, avião em movimento).

Em seguida, aplica-se o pré-teste de forma individual, sem consulta.

Cronograma da Aula

Tabela 1 - Cronograma do MÓDULO 1

Atividade	Papel do Professor	Papel do Aluno	Material
Acolhida 5 min	Apresentar os objetivos da pesquisa e da Sequência Didática	Compreender os objetivos	Cronograma impresso
Roda de Conversa 20 min	Apresentar as "Perguntas Âncora" e mediar o debate sem corrigir as falas	Discutir as situações cotidianas e expor suas ideias iniciais	Perguntas impressas. (Lustre, Avião, Caixa, etc)

Aplicação do Pré-teste 20 min	Aplicar o questionário diagnóstico (15 questões)	Responder individualmente ao questionário sem consulta	Questionário impresso ou formulário digital
Fechamento 5 min	Explicar o que será feito na Aula 02 e os materiais necessários	Tirar dúvidas sobre a logística das próximas aulas	Notas de aula

Fonte: Elaboração própria

Esse momento pedagógico se faz muito importante porque ao mesmo tempo em que aplicamos um instrumental de diagnóstico da turma, ainda fazemos uso de alguns questionamentos a fim de instigar a reflexão e buscar o que os alunos já trazem como conhecimento prévio.

Apresentamos as perguntas que servirão de âncora e permitimos que os alunos possam discutir entre si cada uma delas. Essas perguntas buscam ligar a experiência cotidiana do aluno ao formalismo da Física e preparam o terreno para a apresentação da representação vetorial.

Estimulamos a participação dos alunos reforçando a importância desse momento, pedindo que os alunos escrevessem ou mesmo falassem suas respostas intuitivas livremente sem serem corrigidos, tomando o cuidado de anotar os pontos mais relevantes das respostas para serem retomados num outro momento da sequência.

As respostas incompletas dos alunos (que provavelmente se esqueceram de mencionar a direção e/ou o sentido), usamos para justificar a necessidade de uma ferramenta mais precisa para essa determinação (o Vetor). A partir disso, introduzimos formalmente o conceito (na Aula 2), estabelecendo a "ponte" para a Aprendizagem Significativa.

SONDAGEM: RODA DE CONVERSA

No momento da sondagem fazemos uso da teoria da Aprendizagem Significativa. Usamos as perguntas para ligar o cotidiano dos alunos à Física, assim, estamos propondo uma série de perguntas para motivar essa Roda de Conversa. Para melhor compreender a função de cada grupo de perguntas, as apresentamos em blocos como segue abaixo, e no final da sequência deixamos as questões editadas para impressão.

Perguntas Âncora/Organizadores Prévios (Acesso à Intuição e Experiência).

- O Equilíbrio e o Repouso:

"Quando você empurra uma caixa e ela fica parada, você está fazendo força. Se há força, por que a caixa não se move? O que, na verdade, está 'cancelando' a força da sua mão?"

- (Âncora: Experiência de força sem movimento. Prepara para a ideia de **Força Resultante Nula**.)

- O Equilíbrio e a Dinâmica (1ª Lei de Newton):

"Um avião está voando em linha reta a uma velocidade constante. Para que isso aconteça, o piloto precisa manter o motor ligado, ou seja, há a força dos motores atuando. Por que, mesmo com a força dos motores, o avião não acelera? Em qual situação ele está?"

- (Âncora: Diferenciação entre Força e Aceleração. Prepara para o conceito de **Equilíbrio Dinâmico**.)

- Força como Vetor:

"Se você precisa dar comandos para alguém deslocar uma caixa pesada para um determinado ponto, você diria apenas 'Coloque 50 Newtons de Força' ou precisaria dar mais detalhes? Quais são as informações *essenciais* que você precisa dar para que o ajudante aplique a força exatamente onde e como você quer?"

- (Âncora: Necessidade de **Direção e Sentido** na descrição de Força. Constrói o conceito de **Vetor**.)

Perguntas-Âncora Focadas na Representação (Acesso à Abstração).

- Soma de Forças Colineares:

"Dois grupos estão puxando uma corda (cabo de guerra), mas a bandeira central está parada. Se o Grupo A puxa com 100N para um lado, com quantos Newtons o Grupo B está puxando para o outro lado, e por quê? Se o Grupo B puxasse com 120N, para onde a bandeira iria?"

- (Âncora: Ideia de **oposição vetorial e soma algébrica**, introduzindo a resultante em 1D.)

- Soma de Forças Não-Colineares (Âncora Visual para o Estudo do Equilíbrio):

"Pense em um lustre ou semáforo pendurado por **dois cabos inclinados**. A força do Peso (para baixo) é cancelada por uma única força para cima? Como é que duas forças inclinadas conseguem anular uma força vertical? Como 'desenhamos' isso para entender o que está acontecendo?"

- (Âncora: Prepara para o estudo do **Equilíbrio em 2D** e a **decomposição de vetores** na Aula 03.)

Aplicação do Pré-teste

Iniciaremos com a sensibilização dos alunos, explicando do que se trata esse momento e qual a finalidade dessa pesquisa. Prosseguiremos aplicando o pré-teste para que possamos ter um instrumento para mensurar a aprendizagem da Sequência Didática em questão.

MÓDULO 2 — Introdução ao conceito de força e vetor e Equilíbrio

Objetivo

- Retomar os conceitos formais de grandezas escalares e vetoriais e introduzir as condições de equilíbrio.

Materiais

- Lousa
- Projetor (opcional)

Aplicação

O professor retoma as respostas da aula anterior, comparando o senso comum com o conhecimento científico. Em seguida, apresenta:

- Conceito de força
- Elementos do vetor (módulo, direção e sentido)
- Soma vetorial
- Condição de equilíbrio

Cronograma da Aula

Tabela 2 - Cronograma do MÓDULO 2

Atividade	Papel do Professor	Papel do Aluno	Material
Retomada e Comparação (20 min)	Retomar as respostas da sondagem, comparando o senso comum com o conhecimento físico.	Comparar as respostas intuitivas com os novos conceitos.	Projetor, slides e caderno.
Exposição Teórica (30 min)	Introduzir o conceito de Vetor (módulo, direção, sentido) e Condições de Equilíbrio.	Acompanhar a teoria e registrar os conceitos de equilíbrio.	Lousa e pincel.

Fonte: Elaboração própria

Estratégia

Expositiva-Dialogada.

Tópicos Centrais

Conceito de Força, Caracterização de Vetores, Equilíbrio Intuitivo.

1º MOMENTO:

Retomada das respostas da sondagem (20 min)

Para introduzir esse 1º momento, fazemos o uso dos registros das respostas dos alunos para retomar de onde paramos na aula anterior, linkando a aula 01 e a aula 02.

2º MOMENTO:

Exposição do conteúdo teórico (30 min):

TÓPICOS:

- Discussão sobre a necessidade de *direção e sentido* para descrever completamente uma força.
- Apresentação formal dos elementos do vetor (módulo, direção, sentido) e sua aplicação na representação da Força.
- Definição de Força, tipos de Forças e Força resultante
- Exemplos de composição de forças colineares (cabo de guerra).
- Operações com vetores
- Decomposição de vetores
- Definição de Equilíbrio
- Condições de Equilíbrio.

MÓDULO 3 — Equilíbrio em duas dimensões (Simulação)

Objetivo

Analisar o equilíbrio de forças em duas dimensões por meio de simulação virtual.

Materiais

- Computador, tablet ou celular
- Simulador de forças

Aplicação

O professor orienta os alunos na utilização do simulador, solicitando que manipulem os valores das forças e registrem os dados.

Os alunos devem:

- Analisar componentes horizontais e verticais
- Verificar a condição de equilíbrio
- Comparar resultados

Cronograma da Aula

Tabela 3 - Cronograma do MÓDULO 03

Atividade	Papel do Professor	Papel do Aluno	Material
Revisão Técnica (15 min)	Revisar a decomposição de vetores (F_x e F_y) .	Praticar o cálculo de componentes básicas.	Lousa e calculadora.
Experimento Virtual (35 min)	Orientar o uso do simulador e o preenchimento da Tabela 4.	Manipular o simulador, coletar ângulos e calcular tensões.	Computadores/tablets e link do simulador.

Fonte: Elaboração própria

Estratégia:

Experimento Virtual e Análise de Dados

Tópicos Centrais da aula:

Decomposição de Vetores, Somatório das Componentes, Validação do Equilíbrio.

Atividades:

- Revisão do cálculo de componentes F_x e F_y .
- Uso de um Simulador ([Paralelogramo de forças](#)), usando as componentes para calcular a resultante de forma analítica e visual.

Nesse momento da Sequência Didática, estaremos aplicando o experimento virtual, e para isso, é necessário estarmos seguros da ferramenta antes de aplicar com os alunos, então, sugerimos fazer testes antes da aplicação, com a intenção de antecipar quaisquer dúvidas que possam aparecer no decorrer da aula.

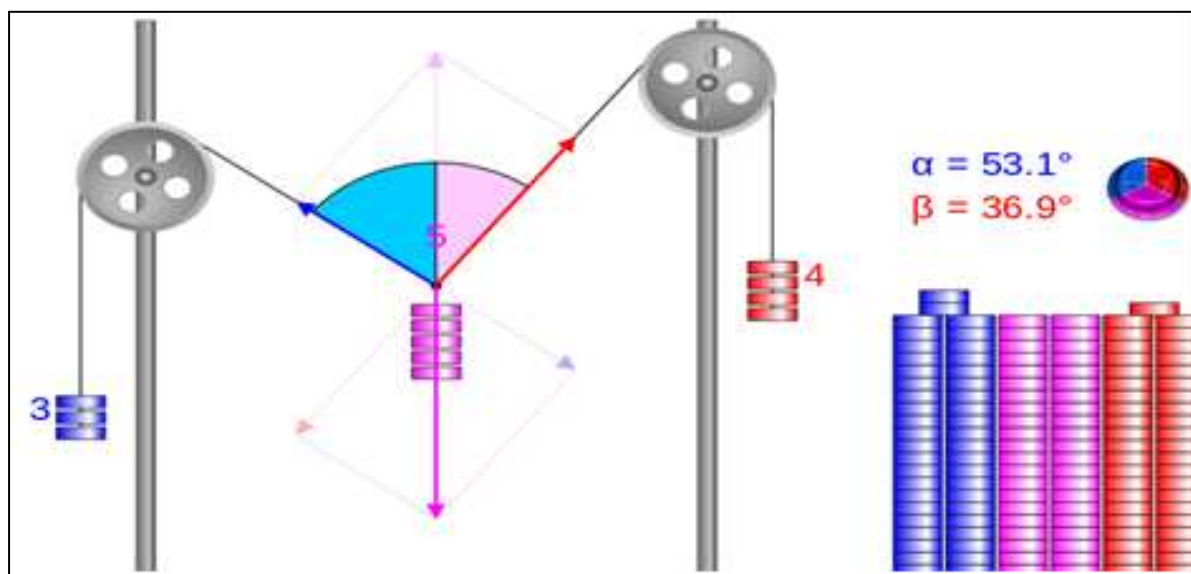
É importante lembrar que esta atividade deve ser realizada no laboratório de informática, caso o professor opte pelo uso dos computadores, mas também pode ser realizada na sala de aula se forem utilizados tablets/celulares.

EQUILÍBRIO DE UMA PARTÍCULA - EXPERIMENTO VIRTUAL

Sabemos que uma partícula está em equilíbrio quando a resultante das forças que atuam sobre ela é zero.

Na Figura 1 mostramos o arranjo inicial do sistema da simulação que iremos utilizar.

Figura 1 – Tela do Experimento virtual utilizado.



Fonte: adaptado de Vascak (s.d.), disponível em: https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mech_rovnobeznik&l=pt. Acesso em: 02 fevereiro 2026.

Neste sistema chamaremos de

- P_1 o módulo do peso da esquerda (inicialmente $P_1 = 3,0 \text{ N}$),
- P_2 o módulo do peso da direita (inicialmente $P_2 = 4,0 \text{ N}$) e
- P_3 o módulo do peso central (inicialmente $P_3 = 5,0 \text{ N}$).

Os valores dos ângulos são mostrados pela simulação. O número em azul indica o ângulo formado entre o vetor azul (devido ao peso P_1) e a linha vertical e o número em vermelho indica o ângulo formado entre o vetor vermelho (devido ao peso P_2) e a linha vertical.

Ainda trabalhando apenas com os módulos das forças, observamos que no centro há um nó. Sobre o nó atuam:

- a tensão T_1 no cordão que liga o nó ao peso P_1 , ($T_1 = P_1$), vetor em azul
- a tensão T_2 no cordão que liga o nó ao peso P_2 , ($T_2 = P_2$), vetor em vermelho e

- a tensão T_3 no cordão que liga o nó ao peso P_3 , ($T_3 = P_3$) vetor na cor rosa.

Como o nó está em equilíbrio, a resultante dos vetores T_1 , T_2 e T_3 é zero.

OBS: Os pesos da simulação são indicados por números inteiros, sem casa decimal, como não faz sentido uma grandeza física com apenas um algarismo significativo (seria apenas o duvidoso), consideramos que todos os pesos têm uma casa decimal (igual a zero), assim teremos pelo menos dois algarismos significativos. Os senos e cossenos podem ser usados com 3 algarismos significativos, uma vez que os ângulos são dados com 3 algarismos significativos.

QUAIS AS CONDIÇÕES DE EQUILÍBRIO?

Nosso próximo passo é verificarmos se as condições de equilíbrio são satisfeitas, e para isso, consideramos os componentes horizontais e verticais das três tensões, tomando como exemplo os dados fornecidos na Figura 1, adotando o sentido positivo para a direita, temos

- $T_{1x} = T_1 \sin 53,1^\circ = -2,4 \text{ N}$, para a esquerda.
- $T_{2x} = T_2 \sin 36,9^\circ = 2,4 \text{ N}$ para a direita.

Os componentes horizontais se anulam.

Para os componentes verticais, temos:

- $T_{3y} = T_3 = 5 \text{ N}$, para baixo.
- $T_{1y} = T_1 \cos 53,1^\circ = 1,8 \text{ N}$, para cima.
- $T_{2y} = T_2 \cos 36,9^\circ = 3,2 \text{ N}$ para cima.

Vemos então que os dois componentes para cima, somados, anulam a tensão para baixo.

Verificamos assim que a condição de equilíbrio é satisfeita.

ROTEIRO - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL (MÓDULO 3)

Para essa aula, utilizaremos o experimento virtual que se encontra no link abaixo. Professor, não se esqueça de acessar o link com antecedência no planejamento de sua aula.

Link para a simulação a ser usada: [Paralelogramo de forças](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mech_rovnobeznik&l=pt) (https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mech_rovnobeznik&l=pt)

MONTAGEM:

Clique sobre os disquinhos para poder escolher diferentes combinações de P_1 , P_2 e P_3 e anote na Tabela 4.

Identificação das Forças:

Considere que cada peça representa um peso de 1 N.

Anote o valor total do peso da esquerda ($\rightarrow P_1$), da direita ($\rightarrow P_2$) e o central suspenso ($\rightarrow P_3$).

Medição dos Ângulos: Para cada combinação de P_1 , P_2 e P_3 anote os ângulos na Tabela 4.

Registro: Preencha os dados na tabela abaixo.

Tabela 4. Resultados “experimentais” para o equilíbrio de uma partícula.

P_1 (N)	P_2 (N)	P_3 (N)	α (°)	β (°)	$T_1 \sin \alpha$ (N)	$T_2 \sin \beta$ (N)	$T_1 \cos \alpha + T_2 \cos \beta$ (N)

ANÁLISE DOS DADOS (O Momento da Reflexão)

Agora, realize os cálculos analíticos para verificar o equilíbrio:

- **Equilíbrio Horizontal:** Calcule $T_1 \sin \alpha$ (N) e $T_2 \sin \beta$ (N). Anote seus resultados, também, na Tabela 4

No equilíbrio ideal, esses valores deveriam ser iguais.

- **Equilíbrio Vertical:** Calcule a soma das componentes para cima $T_1 \cos \alpha + T_2 \cos \beta$ (N) e compare com o valor do peso suspenso P_3 (N). Anote seus resultados, também, na Tabela 4

DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

1 – Com relação aos valores encontrados na Tabela 1, compare os resultados da coluna 6 com os da coluna 7. Compare também os resultados da coluna 8 com os valores da coluna 3. Comente.

2- **Determinação de um peso desconhecido.** Considere que na simulação da Parte 1, $P_1 = 5$ N, $P_2 = 10$ N e P_3 seja um peso desconhecido. Que nessas condições o sistema fique em equilíbrio com $\alpha = 80,0^\circ$ e $\beta = 29,6^\circ$. Determine o peso desconhecido em N, com uma casa decimal. Considere que diferentemente da simulação, o peso desconhecido pode ser ou não um número inteiro.

MÓDULO 4 — Experimento real

Objetivo

Validar as condições de equilíbrio $\sum \vec{F}_x = 0$ e $\sum \vec{F}_y = 0$ comparando os dados reais com os da simulação.

Materiais

- Polias
- Massas (arruelas)
- Fios
- Transferidor
- Suporte experimental

Montagem

O professor deve montar um sistema com três forças atuando em um ponto (nó central), utilizando polias e massas suspensas.

Aplicação

Os alunos realizam medições dos ângulos e das forças, registrando os dados.

Em seguida, comparam:

- Resultados experimentais
- Resultados da simulação
- Também são discutidos possíveis erros experimentais.

Cronograma da Aula

Tabela 5 - Cronograma do MÓDULO 4

Tempo	Atividade	Papel do Professor	Papel do Aluno	Material
10 min	Demonstração	Apresentar o aparato físico e dar orientações de segurança e precisão.	Observar a montagem e identificar os componentes.	Aparato físico (polias, pesos, transferidor).

30 min	Coleta de Dados	Mediar a coleta de dados (pesos e ângulos reais) nas bancadas.	Realizar o experimento, anotar valores e comparar com a Aula 03.	Tabela de dados e calculadora.
10 min	Análise de Erros	Discutir erros experimentais e o papel dos algoritmos significativos.	Refletir sobre as diferenças entre simulação e realidade.	Notas de aula.

Fonte: Elaboração própria

Estratégia:

Atividade Experimental Investigativa.

Tópicos Centrais:

Equilíbrio de Partícula em 2D, Força Resultante Nula.

Atividades:

Experimento usando aparato da Figura 2.

Reconciliação:

Comparação dos dados práticos (MÓDULO 03) com os dados virtuais/analíticos (MÓDULO 02), validando a condição de equilíbrio.

EQUILÍBRIO DE UMA PARTÍCULA - EXPERIMENTO REAL

OBJETIVO

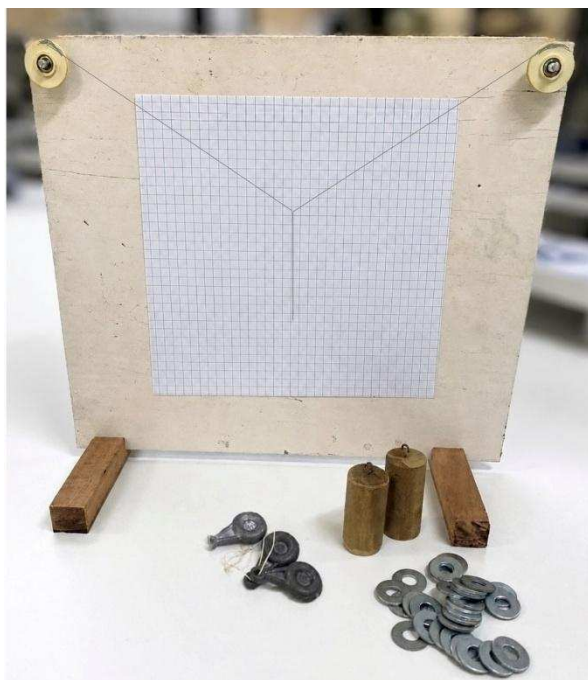
Validar as condições de equilíbrio de uma partícula em 2D ($\Sigma F_x = 0$ e $\Sigma F_y = 0$) utilizando o aparato físico real e comparando os resultados com a simulação virtual da aula anterior.

O APARATO FÍSICO

Observe a montagem experimental disponível em sua bancada (conforme a foto abaixo):

- **Placa de Madeira (MDF):** Base de madeira para fixação dos componentes.
- **Polias:** Duas roldanas fixas no topo que direcionam os fios.
- **Barbantes, fios ou linhas:** Para sustentar as massas.
- **Massas (Pesos):** Arruelas metálicas e ganchos que representam as forças $\rightarrow P_1$, $\rightarrow P_2$ e $\rightarrow P_3$
- **Transferidor:** Ferramenta para medir os ângulos α e β em relação à vertical.

Figura 2 – Aparato experimental de equilíbrio de forças .



Fonte: Autoria própria.

ROTEIRO - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL (MÓDULO 4)

Montagem:

Pendure quantidades diferentes de arruelas nos três fios até que o nó central pare de se mover.

Identificação das Forças:

- Considere que cada arruela (ou conjunto) representa um peso em Newtons (N), (o professor deve pré-calibrar as arruelas).
- Anote o valor total do peso da esquerda ($\rightarrow P_1$), da direita ($\rightarrow P_2$) e o central suspenso ($\rightarrow P_3$).

Medição dos Ângulos: Com o auxílio do transferidor posicionado com seu centro no nó central, meça os ângulos α (lado esquerdo) e β (lado direito) em relação à linha vertical imaginária.

- **Registro:** Preencha os dados na tabela abaixo, semelhante à tabela preenchida no experimento virtual

P_1 (N)	P_2 (N)	P_3 (N)	α (°)	β (°)	$T_1 \sin \alpha$ (N)	$T_2 \sin \beta$ (N)	$T_1 \cos \alpha + T_2 \cos \beta$ (N)

Tabela 6: Dados Coletados no Experimento Real

ANÁLISE DOS DADOS (O Momento da Reflexão)

Agora, realize os cálculos analíticos para verificar o equilíbrio:

- **Equilíbrio Horizontal:** Calcule $T_1 \sin \alpha$ (N) e $T_2 \sin \beta$ (N). Anote seus resultados, também, na Tabela 6.

No equilíbrio ideal, esses valores deveriam ser iguais.

- **Equilíbrio Vertical:** Calcule a soma das componentes para cima $T_1 \cos \alpha + T_2 \cos \beta$ (N) e compare com o valor do peso suspenso P_3 (N). Anote seus resultados, também, na Tabela 6.

DISCUSSÃO: REALIDADE VS. SIMULAÇÃO

Diferente do simulador virtual (Aula 03), o experimento real possui imperfeições. Responda:

- Com relação aos valores encontrados na Tabela 5, compare os resultados da coluna 6 com os da coluna 7. Compare também os resultados da coluna 8 com os valores da coluna 3. Comente: Houve diferença significativa entre os valores calculados e os pesos reais?
- Como o atrito nas polias ou o peso do próprio barbante podem ter afetado o seu resultado?
- Por que é importante considerar algarismos significativos ao ler o transferidor e as massas?

MÓDULO 5 — Avaliação e fechamento

Objetivo

Verificar a aprendizagem dos alunos e consolidar os conceitos.

Materiais

Questionário pós-teste

Aplicação

O professor realiza uma revisão geral dos conteúdos e aplica o pós-teste.

Em seguida, promove uma discussão coletiva, comparando os resultados com o pré-teste e destacando a evolução da aprendizagem.

Objetivos da Aula

- Realizar a síntese final do conteúdo
- Verificar a evolução da aprendizagem através do pós-teste.

Cronograma da Aula

Tabela 7 - Cronograma do MÓDULO 05

Tempo	Atividade	Papel do Professor	Papel do Aluno	Material
15 min	Revisão Final	Revisar o ciclo: Força → Vetor → Composição → Equilíbrio.	Participar da síntese coletiva do conteúdo.	Mapa mental ou slides.
25 min	Pós-teste	Aplicar o questionário de 15 questões (mesmo da Aula 01).	Responder ao pós-teste individualmente.	Questionário impresso ou digital.
10 min	Discussão	Mediar a discussão das questões que geraram mais dúvidas.	Analisar sua própria evolução e superar erros conceituais.	Provas e notas de aula.

Fonte: Elaboração própria

I. **Tópicos Centrais:** Síntese do Conteúdo, Verificação da Aprendizagem.

II. **Estratégia:** Avaliação Formal e Discussão.

III. Atividades:

- Breve Revisão do ciclo (Força $\Rightarrow$ Vetor $\Rightarrow$ Composição $\Rightarrow$ Equilíbrio).
- Aplicação do **Pós-teste** com as 15 questões de múltipla escolha.

- Discussão em grupo das questões, focando nas respostas que indicam uma mudança de concepção (Superação da aprendizagem mecânica).

Nesta última aula da sequência didática, fizemos a avaliação da aprendizagem e para isso retomamos todo o processo e aplicamos o Pós-teste. Em seguida fizemos uma análise comparativa, em grupo, das respostas do pré e pós-teste, a fim de verificar a superação da aprendizagem mecânica.

PRÉ/PÓS - TESTE

As questões elaboradas para nosso Pré/pós - teste foram divididas a fim de contemplar todo o conteúdo abordado na Sequência Didática, segundo a divisão abaixo:

Divisão das Questões:

- I. Conceito de Força (3 Questões)
- II. Representação Vetorial (3 Questões)
- III. Operações com Vetores (4 Questões)
- IV. Equilíbrio de Forças (5 Questões)

Descrição das Questões

(AS - Aprendizagem Significativa)

Questão 1: Natureza da Força e Unidade (AS: Relação com o Conhecimento Prévio)

Questão 2: Força como Grandeza Vetorial (AS: Diferenciação de Conceitos)

Questão 3: Tipos de Forças e Ocorrência (AS: Assimilação e Aplicação Contextual)

Questão 4: Elementos de um Vetor (AS: Foco na Representação)

Questão 5: Interpretação de Componentes (AS: Decomposição em Eixos)

Questão 6: Representação Gráfica e Sentido (AS: Visualização Vetorial)

Questão 7: Regra da Soma Vetorial (AS: Aplicando a Regra do Polígono/Paralelogramo)

Questão 8: Módulo da Resultante de Vetores Perpendiculares (AS: Aplicação do Teorema)

Questão 9: Condições para Soma Máxima e Mínima (AS: Análise das Condições)

Questão 10: Adição de Múltiplos Vetores (AS: Conceito de Vetores Cíclicos)

Questão 11: Condição de Equilíbrio Translacional (AS: Definição Formal)

Questão 12: Equilíbrio Dinâmico vs. Estático (AS: Diferenciação de Estados)

Questão 13: Análise de Equilíbrio em 2D (AS: Síntese de Componentes)

Questão 14: O Equilíbrio Estático e o Cancelamento de Forças (AS: Ancoragem em Conhecimentos Prévios)

Questão 15: Consequência da Força Resultante Diferente de Zero (AS: Leis de Newton)

AS - Aprendizagem significativa

QUESTÕES PRÉ/PÓS - TESTE

Questão 1: Um estudante levanta sua mochila do chão. Na Física, a interação entre a mão do estudante e a mochila é descrita pelo conceito de força. Assinale a alternativa que define corretamente o que é força e sua unidade no Sistema Internacional (SI).

- a) Força é uma energia capaz de gerar calor, medida em Joules (J).
- b) Força é a quantidade de matéria em um corpo, medida em quilogramas (kg).
- c) Força é uma grandeza que só possui módulo, atuando na atração gravitacional, medida em Coulombs (C).
- d) Força é a causa que pode manter ou modificar o estado de movimento ou repouso de um corpo, ou causar deformação, medida em Newtons (N).
- e) Força é a capacidade de um corpo se manter em movimento retilíneo, medida em metros por segundo (m/s).

Questão 2: Por que a Força é classificada como uma **grandeza vetorial**, diferentemente de grandezas como Tempo e Massa (escalares)?

- a) Porque seu valor (módulo) é sempre positivo, o que não ocorre com as grandezas escalares.
- b) Porque é medida pelo produto da massa pela aceleração ($F = m \cdot a$), e a massa é um escalar.
- c) Porque ela se combina algebricamente através de somas e subtrações simples, como o tempo.
- d) Porque, além do seu valor (módulo), ela precisa de direção e sentido para ser completamente descrita.
- e) Porque ela só existe no planeta Terra e depende da atração gravitacional.

Questão 3: Qual par de forças atua sobre um livro que está em repouso sobre uma mesa horizontal?

- a) Força Peso (para baixo) e Força de Atrito (oposta ao movimento).
- b) Força de Tração (do cabo) e Força Peso (para baixo).
- c) Força Elástica (da mola) e Força Normal (perpendicular à superfície).
- d) Força Peso (atração da Terra) e Força Normal (reação da superfície).
- e) Força de Ação e Reação (Terceira Lei de Newton) que se anulam na mesa.

Questão 4: A representação de uma força F por um vetor exige a identificação de três elementos essenciais:

- a) Inércia, Módulo e Direção.
- b) Origem, Ponto e Coordenada.
- c) Módulo (Intensidade), Direção e Sentido.
- d) Massa, Aceleração e Velocidade.
- e) Componente X, Componente Y e Componente Z.

Questão 5: Uma força F de 100N é aplicada em uma caixa, formando um ângulo de 60° com a horizontal (eixo x). Qual o significado físico da componente horizontal (F_x) dessa força?

- a) É a força que anula o peso da caixa, garantindo o equilíbrio vertical.
- b) É a força total que atua na caixa, independentemente do ângulo de aplicação.
- c) É a força que o corpo sente ao tentar escapar da trajetória, devido à inércia.
- d) É a parte da força total F que é efetiva para causar movimento na direção horizontal.
- e) É sempre nula, pois a caixa só pode se mover na direção da força total aplicada.

Questão 6: Dois vetores, $\vec{A}$ e $\vec{B}$, têm o mesmo módulo (valor numérico) e a mesma direção (vertical), mas representam forças com sentidos opostos (um para cima e outro para baixo). Qual a relação vetorial correta entre eles?

- a) $\vec{A} = \vec{B}$
- b) $\vec{A} = -\vec{B}$
- c) $|\vec{A}| \neq |\vec{B}|$
- d) $\vec{A} + \vec{B} = 2\vec{A}$
- e) $\vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}| \cdot |\vec{B}|$

Questão 7: A soma de dois vetores

$\vec{A}$ e $\vec{B}$ é o vetor resultante $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B}$. Graficamente, se usarmos a "regra do polígono", como o **vetor resultante** é traçado?

- a) Unindo a origem de $\vec{A}$ com a origem de $\vec{B}$.
- b) Unindo a extremidade de $\vec{B}$ com a extremidade de $\vec{A}$.
- c) Unindo a extremidade de $\vec{A}$ com a origem de $\vec{R}$.

- d) Unindo a origem do primeiro vetor ($\vec{A}$) à extremidade do último vetor ($\vec{B}$).
- e) Traçando uma linha a partir do ponto médio entre $\vec{A}$ e $\vec{B}$.

Questão 8: Duas forças, $\vec{F}_1(3N, horizontal)$ e $\vec{F}_2(4N, vertical)$, atuam simultaneamente sobre um corpo. Qual o módulo da força resultante $\vec{R}$?

- a) 1N
- b) 3,5N
- c) 5N
- d) 7N
- e) 12N

Questão 9: Dois vetores de módulos $5u$ e $10u$ são somados. Qual o **único** valor que o módulo do vetor resultante $\vec{R}$ **não pode** assumir?

- a) $5u$
- b) $15u$
- c) $12u$
- d) $8u$
- e) $17u$

Questão 10: Quatro vetores $\vec{A}$, $\vec{B}$, $\vec{C}$ e $\vec{D}$ são dispostos em sequência (ponta-cauda) e formam um polígono fechado. O vetor $\vec{D}$ volta para a origem do primeiro vetor. Qual o módulo da soma vetorial $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C} + \vec{D}$?

- a) $\vec{R} = |\vec{A}| + |\vec{B}| + |\vec{C}| + |\vec{D}|$
- b) $\vec{R}$ = módulo do vetor mais longo
- c) O módulo é 4.
- d) O módulo é a soma das diagonais.
- e) O módulo da resultante é zero (vetor nulo).

Questão 11: Segundo a Primeira Lei de Newton, um corpo está em **Equilíbrio Translacional** quando:

- a) A força resultante (soma vetorial de todas as forças) que atua sobre ele é nula

$$\Sigma \vec{F} = 0.$$

- b) Ele está parado e não sofre a ação de nenhuma força.
- c) Sua velocidade está diminuindo, indicando que a inércia está agindo.
- d) A soma de todas as forças que agem sobre ele é igual à sua massa.
- e) Ele está se movendo, mas a soma de todas as forças é positiva.

Questão 12: Qual a principal diferença entre o Equilíbrio Estático e o Equilíbrio Dinâmico?

- a) O equilíbrio dinâmico ocorre apenas no espaço, e o estático, na Terra.
- b) No estático a Força Resultante é nula, e no dinâmico, é constante e não nula.
- c) Ambos têm Força Resultante nula, mas o estático envolve velocidade nula (repouso) e o dinâmico envolve velocidade constante e diferente de zero.
- d) O estático tem aceleração nula, e o dinâmico tem aceleração constante.
- e) O equilíbrio estático exige torque nulo, e o dinâmico não.

Questão 13: Um objeto está pendurado por dois cabos, formando um ângulo agudo entre si. Sabendo que o objeto está em repouso, a condição para o equilíbrio é:

- a) O módulo de cada força de tração ($\vec{T}_1, \vec{T}_2$) deve ser igual ao Peso ($\vec{P}$).
- b) Apenas a soma dos módulos das forças é o suficiente para anular o Peso.
- c) O Peso ($\vec{P}$) é nulo, pois o objeto está parado.
- d) A soma dos módulos das trações é sempre maior que o Peso.
- e) A soma vetorial da Força Peso ($\vec{P}$) e das duas Forças de Tração ($\vec{T}_1 + \vec{T}_2$) resulta no vetor nulo ($\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{P} = 0$).

Questão 14: Imagine a situação: você empurra uma caixa pesada no chão e ela permanece parada (em repouso). Se você está aplicando uma força, por que a caixa não se move?

- a) Porque a força da sua mão é anulada pela massa total da caixa.
- b) Porque a força que você aplica é "cancelada" pela força de atrito entre a caixa e o chão.
- c) Porque em objetos parados a gravidade deixa de atuar temporariamente.
- d) Porque a caixa possui uma força interna que impede qualquer movimento.
- e) Porque o ar ao redor da caixa empurra ela no sentido contrário com a mesma intensidade.

Questão 15: Se a soma vetorial de todas as forças que atuam sobre um corpo é diferente de zero ($\vec{\Sigma F} \neq 0$), qual a consequência imediata, de acordo com a Segunda Lei de Newton?

- a) O corpo deve se mover com velocidade constante.
- b) O corpo deve se manter em repouso (equilíbrio estático).
- c) O corpo tenderá a manter seu estado de movimento (inércia).
- d) O corpo deve adquirir uma aceleração que possui a mesma direção e sentido da força resultante ($\vec{a} = \frac{\vec{\Sigma F}}{m}$).
- e) O corpo deve sofrer uma força de reação de mesma intensidade e sentido oposto.

GABARITO														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
D	D	D	C	D	B	D	C	E	E	A	C	E	B	D

QUESTIONÁRIO SOBRE A METODOLOGIA APLICADA

Instrumento de avaliação da metodologia utilizada na sequência didática. Leia atentamente cada afirmação e marque a alternativa que melhor representa sua opinião.

1. Idade: _____

2. Série/Turma: _____

DIMENSÃO 1 — MOTIVAÇÃO

3. A metodologia utilizada despertou meu interesse pelas aulas.

- () Discordo totalmente
- () Discordo parcialmente
- () Nem concordo nem discordo
- () Concordo parcialmente
- () Concordo totalmente

4. Senti-me mais motivado(a) para aprender com essa abordagem utilizada na sequência didática.

- () Discordo totalmente
- () Discordo parcialmente
- () Nem concordo nem discordo
- () Concordo parcialmente
- () Concordo totalmente

DIMENSÃO 2 — ENGAJAMENTO

5. As aulas ficaram mais dinâmicas do que as aulas tradicionais.

- () Discordo totalmente
- () Discordo parcialmente
- () Nem concordo nem discordo
- () Concordo parcialmente
- () Concordo totalmente

6. Participei mais ativamente das aulas com essa metodologia.

- () Discordo totalmente
- () Discordo parcialmente
- () Nem concordo nem discordo

☐ Concordo parcialmente

☐ Concordo totalmente

7. Senti-me à vontade para fazer perguntas e expressar minhas ideias.

☐ Discordo totalmente

☐ Discordo parcialmente

☐ Nem concordo nem discordo

☐ Concordo parcialmente

☐ Concordo totalmente

8. Colaborei com meus colegas durante as atividades.

☐ Discordo totalmente

☐ Discordo parcialmente

☐ Nem concordo nem discordo

☐ Concordo parcialmente

☐ Concordo totalmente

DIMENSÃO 3 — APRENDIZAGEM PERCEBIDA

9. Consigo explicar o que aprendi para outra pessoa.

☐ Discordo totalmente

☐ Discordo parcialmente

☐ Nem concordo nem discordo

☐ Concordo parcialmente

☐ Concordo totalmente

10. Essa abordagem contribuiu para tornar meu aprendizado mais significativo.

☐ Discordo totalmente

☐ Discordo parcialmente

☐ Nem concordo nem discordo

☐ Concordo parcialmente

☐ Concordo totalmente

11. Acredito que aprendi mais com essa metodologia do que aprenderia apenas com aulas expositivas.

- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Nem concordo nem discordo
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Concordo totalmente

DIMENSÃO 4 — ORGANIZAÇÃO DIDÁTICA

12. As orientações do professor foram claras.

- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Nem concordo nem discordo
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Concordo totalmente

13. Os materiais e recursos utilizados ajudaram na aprendizagem.

- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Nem concordo nem discordo
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Concordo totalmente

14. O tempo destinado às atividades foi adequado.

- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Nem concordo nem discordo
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Concordo totalmente

DIMENSÃO 5 — AUTOAVALIAÇÃO

15. Senti-me capaz de realizar as atividades propostas.

- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Nem concordo nem discordo
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Concordo totalmente

16. Tive confiança para resolver os desafios apresentados nas aulas.

- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Nem concordo nem discordo
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Concordo totalmente

17. Percebi evolução no meu aprendizado ao longo das atividades.

- ☐ Discordo totalmente
- ☐ Discordo parcialmente
- ☐ Nem concordo nem discordo
- ☐ Concordo parcialmente
- ☐ Concordo totalmente

AVALIAÇÃO GLOBAL

18. Como você avalia a utilidade das atividades experimentais para o entendimento dos conceitos de Equilíbrio?

- ☐ Muito ruim
- ☐ Ruim
- ☐ Regular
- ☐ Boa
- ☐ Muito boa

19. A possibilidade de realizar atividades experimentais virtuais nas aulas de física desperta mais seu interesse pela matéria?

- ☐ Sim, muito

- ☐ Sim, um pouco
- ☐ Não muda meu interesse
- ☐ Diminui meu interesse

20. Você se sente mais confiante em seu aprendizado quando realiza atividades experimentais em física?

- ☐ Muito mais confiante
- ☐ Mais confiante
- ☐ Não faz diferença
- ☐ Menos confiante

21. Você acredita que as atividades experimentais de mecânica são inclusivas para todos os alunos, incluindo aqueles com necessidades especiais?

- ☐ Sim, totalmente inclusivas
- ☐ Sim, em parte inclusivas
- ☐ Pouco inclusivas
- ☐ Não são inclusivas

22. Qual é a sua opinião sobre a combinação de atividades com experimentos reais e virtuais nas aulas de física?

- ☐ Muito positiva
- ☐ Positiva
- ☐ Indiferente
- ☐ Negativa

23. Você gostaria de utilizar outros experimentos virtuais para estudar outros conteúdos de física?

- ☐ Sim, com certeza
- ☐ Sim, pode ser
- ☐ Não tenho certeza
- ☐ Não, não ajudam

PERGUNTAS

Perguntas do MÓDULO 1 para impressão.

"Dois grupos estão puxando uma corda (cabo de guerra), mas a bandeira central está parada. Se o Grupo A puxa com 100N para um lado, com quantos Newtons o Grupo B está puxando para o outro lado, e por quê? Se o Grupo B puxasse com 120N, para onde a bandeira iria?"	"Um avião está voando em linha reta a uma velocidade constante. Para que isso aconteça, o piloto precisa manter o motor ligado, ou seja, há a força dos motores atuando. Por que, mesmo com a força dos motores, o avião não acelera? Em qual situação ele está?"
"Se você precisa dar comandos para alguém deslocar uma caixa pesada para um determinado ponto, você diria apenas 'Coloque 50 Newtons de Força' ou precisaria dar mais detalhes? Quais são as informações <i>essenciais</i> que você precisa dar para que o ajudante aplique a força exatamente onde e como você quer?"	"Pense em um lustre ou semáforo pendurado por dois cabos inclinados . A força do Peso (para baixo) é cancelada por uma única força para cima? Como é que duas forças inclinadas conseguem anular uma força vertical? Como 'desenhamos' isso para entender o que está acontecendo?"
"Quando você empurra uma caixa e ela fica parada, você está fazendo força. Se há força, por que a caixa não se move? O que, na verdade, está 'cancelando' a força da sua mão?"	

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, David Paul. **Aquisição e retenção de conhecimentos**: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano, 2003.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília: MEC, 1999.

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz; GUIMARÃES, Carla. **Física**: contexto e aplicações – volume 1: mecânica. São Paulo: Scipione, 2016.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem significativa**: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Centauro, 2011.

NEWTON, V. B.; HELOU, D.; GUALTER, J. B. **Tópicos de Física 1** – Mecânica. São Paulo: Saraiva, 2007.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de física básica**: mecânica. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2013.

RESNICK, Robert; HALLIDAY, David; KRANE, Kenneth S. **Física 4**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa**: como ensinar. Porto Alegre: Artmed, 1998.