



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS NATURAIS**

**O EXPERIMENTO DO BALDE DE NEWTON SOB A INTERPRETAÇÃO DA
MECÂNICA NEWTONIANA E DA MECÂNICA RELACIONAL**

LUCIANA VITAL DANTAS SOUSA

**PROF. DR. FREDERICO AYRES DE OLIVEIRA NETO
ORIENTADOR**

**CUIABÁ - MT
2021**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS NATURAIS

**O EXPERIMENTO DO BALDE DE NEWTON SOB A INTERPRETAÇÃO DA
MECÂNICA NEWTONIANA E DA MECÂNICA RELACIONAL**

LUCIANA VITAL DANTAS SOUSA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências Naturais.

PROF. DR. FREDERICO AYRES DE OLIVEIRA NETO
ORIENTADOR

CUIABÁ-MT
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S725e Sousa, Luciana Vital Dantas.
O experimento do balde de Newton sob a interpretação da Mecânica Newtoniana e da Mecânica Relacional / Luciana Vital Dantas Sousa. -- 2021
132 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Frederico Ayres de Oliveira Neto.
Dissertação (mestrado profissional) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Ciências Naturais, Cuiabá, 2021.
Inclui bibliografia.

1. Ensino de Ciências. 2. Axiomas do movimento. 3. Experiência do balde de Newton. 4. Paul Feyerabend. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS NATURAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "O Experimento do Balde de Newton sob a interpretação da Mecânica Newtoniana e Mecânica Relacional"

AUTORA: MESTRANDA LUCIANA VITAL DANTAS SOUSA

Dissertação defendida e aprovada em 26 de novembro de 2021.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. DOUTOR FREDERICO AYRES DE OLIVEIRA NETO (PRESIDENTE DA BANCA / ORIENTADOR)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO - UFMT

2. DOUTORA MARIUCE CAMPOS DE MORAES (EXAMINADORA INTERNA)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO - UFMT

3. DOUTOR JOÃO PAULO MARTINS DE CASTRO CHAIB (EXAMINADOR EXTERNO)

INSTITUIÇÃO: CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS - CEFET-MG

4. DOUTOR CARLOS RINALDI (EXAMINADOR SUPLENTE)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO - UFMT

CUIABÁ, 26/11/2021.



Documento assinado eletronicamente por **FREDERICO AYRES DE OLIVEIRA NETO**, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso, em 09/12/2021, às 16:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **CARLOS RINALDI**, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso, em 09/12/2021, às 16:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARIUCE CAMPOS DE MORAES**, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso, em 09/12/2021, às 17:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **João Paulo Martins de Castro Chaib**, Usuário Externo, em 09/12/2021, às 17:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4248560** e o código CRC **EADC89A0**.

DEDICATÓRIA

A Deus, por iluminar minha vida em todos os momentos.

A toda minha Família, pela compreensão nos momentos em que estive ausente.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Frederico Ayres de Oliveira Neto e Prof. Dr. André Koch Torres Assis, por acreditarem em mim e contribuírem com o desenvolvimento deste estudo.

Aos professores e colegas de turma e a todos amigos e amigas.

Grata pelo aprendizado.

AGRADECIMENTOS

A Deus por propiciar proteção em toda a trajetória vivida.

A toda minha família, em especial aos meus filhos, aos meus pais e aos meus sogros.

Ao companheiro, amigo e esposo, pelo apoio e compreensão durante o mestrado, nos momentos ausentes.

Aos Mestres, que contribuíram com minha formação profissional desde a graduação, de quem tenho grande admiração e carinho.

Ao orientador Prof. Dr. Frederico Ayres de Oliveira Neto, de forma especial pelas contribuições e liberdade para que pudesse trilhar o caminho da pesquisa e suporte em todo o processo.

Ao Prof. Dr. André Koch Torres Assis, por nos propiciar os fundamentos experimentais e históricos sobre uma das experiências mais importantes da Mecânica Newtoniana, que é do Balde Girante à luz da Mecânica Relacional, que foi a maior motivação deste trabalho.

Aos professores examinadores que ofereceram contribuições para o enriquecimento deste estudo.

A todos os professores e estudantes que integraram a pesquisa e propiciaram a construção de conhecimento.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Mato Grosso, que contribuíram com a formação.

Aos colegas pela amizade.

A todos sou grata pelo apoio e companheirismo, por permitirem que essa caminhada fosse mais suave e agradável.

RESUMO

Em sua obra mais importante, *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, Isaac Newton introduziu a noção de espaço absoluto como condição ideal para que seus axiomas de movimento pudessem ser aplicados de uma forma absolutamente lógica e rigorosa. Assim, no universo newtoniano o espaço absoluto pode ser entendido como palco no qual o movimento acontece, o qual Newton procurou demonstrar com a experiência do balde girante e os efeitos observados em movimentos circulares. Nesse trabalho, a proposta foi apresentar as críticas à noção de espaço absoluto de Newton por parte dos filósofos como Leibniz e Berkeley, já no início do Século XVII, e, posteriormente, Ernst Mach e suas ideias relacionais, sob a ótica da Mecânica Relacional com as contribuições de André Koch Torres Assis. Destaca-se que o cenário deste trabalho traz a Mecânica Newtoniana como palco pelo qual a pesquisa é transitada, tendo a experiência do balde de Newton como protagonista, com objetivo de contribuir com uma crítica reflexiva sobre os fundamentos do formalismo newtoniano. O intuito foi aprofundar as reflexões sobre os referenciais e apresentar alternativas aos métodos tradicionais de interpretação dos eventos pela Mecânica Clássica, sem a pretensão de abandonar ideias, mas de buscar alternativas às perspectivas estabelecidas, fornecendo subsídios para a crítica reflexiva em sala de aula no ensino de ciência. Desse modo, epistemologicamente, essa pesquisa traz a postura inovadora de Paul Feyerabend, destacando a reflexão sobre os fundamentos da física pela perspectiva de duas teorias distintas: a Mecânica Clássica e a Mecânica Relacional. Dessa maneira, na concepção de ensino de ciências foi propiciado o resgate da história e da filosofia com seus fundamentos, por intermédio de encontros virtuais com oficinas e *lives*, bem como a partir de resultados da aplicação de questionários específicos aos participantes com o intuito de identificar os conhecimentos individuais sobre as teorias que permitem compreender os eventos observados. Ao finalizar o referido trabalho se chega à conclusão de que a interpretação sobre os enunciados da experiência do balde de Newton, seja através da Mecânica Newtoniana, seja da Mecânica Relacional, com seus consequentes pronunciamentos e suas problemáticas proporcionou aos participantes uma mudança em suas concepções relacionadas aos fundamentos das teorias que contemplam as interpretações do movimento dos corpos sob um determinado referencial.

Palavras-chave: Ensino de ciências, Axiomas do movimento, Experiência do balde de Newton, Paul Feyerabend.

ABSTRACT

In his most important work, *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, Isaac Newton introduced the notion of absolute space as an ideal condition so that his movement axioms could be applied in a logical and rigorous way. Thus, in the Newtonian universe, absolute space can be understood as the stage on which the movement takes place, which Newton sought to demonstrate with the experience of the spinning bucket and the effects observed in circular movements. In this text, the proposal was to present the criticisms of Newton's notion of absolute space by philosophers such as Leibniz and Berkeley, already in the early seventeenth century, and later Ernst Mach and his relational ideas, from the perspective of Relational Mechanics with the contributions of André Koch Torres Assis. It is noteworthy that the scenario of this work brings Newtonian Mechanics as the stage through which the research is carried over, having the experience of Newton's bucket as the protagonist, with the objective of contributing with a reflexive critique on the foundations of Newtonian formalism. The aim was to deepen the reflections on the references and present alternatives to the traditional methods of interpretation of events by Classical Mechanics, without intending to abandon ideas, but to seek alternatives to the established perspectives, providing subsidies for reflexive criticism in the classroom in the teaching of science. Thus, epistemologically, this research brings the innovative posture of Paul Feyerabend, highlighting the reflection on the fundamentals of physics from the perspective of two distinct theories: Classical Mechanics and Relational Mechanics. Thus, in the conception of science teaching, the rescue of history and philosophy was provided with its foundations, through virtual meetings with workshops and *lives*, as well as from the results of the application of specific questionnaires to the participants in order to identify the individual knowledge about the theories that allow understanding the observed events. At the end of this work, we conclude that the interpretation of the utterances of Newton's bucket experience, either through Newtonian Mechanics or relational mechanics, with its consequent pronouncements and its problems, provided the participants with a change in their conceptions related to the foundations of theories that contemplate the interpretations of the movement of bodies under a given referential.

Keywords: Science teaching, Movement Axioms, Newton Bucket Experience, Paul Feyerabend.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Balde e água em repouso em relação à Terra.....	38
Figura 2 - Balde e água girando juntos em relação à Terra.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de professores participantes por municípios e Estados.....	67
Tabela 2 - Relação de professores participantes por disciplina e área de conhecimento....	67
Tabela 3 - Relação de graduandos por município e Estado.....	68

LISTA DE FOTOS

Foto 1 - Print de tela da II Live do PPGECCN.....	54
Foto 2 - Materiais utilizados para a Maleta.....	55
Foto 3 - Física na Maleta.....	56
Foto 4 - Equipe de apoio e mestrandos.....	57
Foto 5 - Matéria que trata de experimentos para ensinar física.....	60
Foto 6 - Registro do Evento com prof. Dr. André K. T. Assis.....	60
Foto 7 - Tela de abertura da I Jornada Virtual do Ensino de Física.....	64
Foto 8 - I Jornada Virtual do Ensino de Física.....	65
Foto 9 - Materiais usados na exposição virtual.....	66

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1 - Autoavaliação sobre as leis de movimento de Isaac Newton71
- Gráfico 2 - Autoavaliação sobre conhecer e aplicar teorias sobre movimento dos corpos72
- Gráfico 3 - Autoavaliação sobre conhecimento de referencial na Mecânica Newtoniana73
- Gráfico 4 - Conhecimento sobre conceito de inércia74
- Gráfico 5 - Confiança em apresentar alternativas à Teoria Newtoniana75
- Gráfico 6 - Grau de confiança em apresentar a Mecânica Relacional75
- Gráfico 7 - Grau de confiança em apresentar a experiência do balde de Newton76
- Gráfico 8 - Autoavaliação sobre conhecimento acerca das leis de movimento de Newton84
- Gráfico 9 - Autoavaliação acerca de conhecimento e aplicação de referenciais sobre teorias sobre movimento dos corpos85
- Gráfico 10 - Autoavaliação acerca de conhecimento sobre Mecânica Newtoniana86
- Gráfico 11 - Autoavaliação sobre conceito de inércia e interação entre os corpos e galáxias87
- Gráfico 12 - Confiança em apresentar teorias alternativas88
- Gráfico 13 - Grau de confiança acerca de apresentar a Mecânica Relacional89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
DCN	Diretrizes Curriculares Nacionais
EI	Ensino Investigativo
IFMT	Instituto Federal de Mato Grosso
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
LDB	Lei das Diretrizes e Bases da Educação
LDBEN	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
MEC	Ministério da Educação
MT	Mato Grosso
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PNE	Plano Nacional de Educação
PPP	Projeto Político Pedagógico
PPGECN	Programa de Pós-Graduação do Ensino de Ciência Naturais
SD	Sequência Didática
SEDUC	Secretaria Estadual de Educação
SEI	Sequência de Ensino por Investigação
UFMT	Universidade Federal de Mato Grosso

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	15
INTRODUÇÃO	17
1 MECÂNICA NEWTONIANA.....	21
1.1 TEMPO E ESPAÇO ABSOLUTOS	25
1.2 O MOVIMENTO ABSOLUTO E O EXPERIMENTO DO BALDE.....	27
1.3 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE A MECÂNICA NEWTONIANA....	29
2 MECÂNICA RELACIONAL	34
2.1 MECÂNICA RELACIONAL E O EXPERIMENTO DO BALDE DE NEWTON	36
2.2 FUNDAMENTAÇÃO EPISTEMOLÓGICA	41
2.3 O ENSINO INVESTIGATIVO EM CIÊNCIAS.....	47
2.3.1 As interações no ensino investigativo de ciências	50
2.3.2 A ludicidade e o ensino de ciências	52
3 PERCURSO METODOLÓGICO.....	54
3.1 O PROJETO E O USO DA MALETA	54
3.2 V LIVE DO PPGE CN – DIÁLOGO ABERTO SOBRE CIÊNCIA COM PROFESSOR DR. ANDRÉ KOCH TORRES ASSIS	60
3.3 I JORNADA VIRTUAL DO ENSINO DE FÍSICA – OFICINA II.....	64
4 RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO APLICADO AOS PROFESSORES	70
4.1 RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO APLICADO AOS GRADUANDOS	82
4.2 REGISTROS DAS CONVERSAS POR MEIO DE APLICATIVO COM OS PROFESSORES	99
4.3 REGISTROS DOS CONTATOS POR MEIO DE CONVERSAS EM APLICATIVO COM OS GRADUANDOS.....	104
4.4 PRODUTO EDUCACIONAL – REVISTA DE ATIVIDADES	107
CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
REFERÊNCIAS	113
APÊNDICE	119
O balde de Newton.....	119
A1. MECÂNICA RELACIONAL – DEFINIÇÕES	119
A2. FORÇAS NA MECÂNICA RELACIONAL	121
A3. APLICAÇÃO AO BALDE DE NEWTON.....	122
A3.1. Balde de Newton segundo a Mecânica Clássica	122
A3.2. Balde de Newton segundo a Mecânica Relacional	126

APRESENTAÇÃO

A inserção da história e da filosofia da ciência no ensino de ciências está cada vez mais recorrente. Percebe-se que a referida inserção é apontada como uma solução que busca um diálogo frente ao ensino nesta modalidade. Este trabalho se insere neste contexto e vem somar a esta pesquisa.

Apresenta-se na introdução, o caminho percorrido até se chegar aos objetivos propostos com a questão norteadora da pesquisa. Consta nessa introdução, portanto, o cenário da pesquisa, uma proposta de aplicação virtual.

Posteriormente, é apresentada uma pequena revisão da fundamentação teórica que discorre sobre a Mecânica Newtoniana, destacando o tempo e o espaço absolutos de Newton, para que possa fundamentar, em seguida, os resultados com a experiência do balde de Newton.

O texto explicita a apresentação do movimento absoluto e a experiência do balde de Newton com o objetivo de comparar os efeitos previstos com a interpretação pela Mecânica Clássica e pela Mecânica Relacional, distinguindo o movimento em relação ao espaço absoluto do relativo, seguindo com algumas considerações sobre a Mecânica Newtoniana sob o ponto de vista filosófico.

Na sequência, o trabalho discorre sobre a Mecânica Relacional como fundamentação teórica, para uma nova formulação de interpretação de conceitos newtonianos que contrapõe a Mecânica Clássica com a implementação das ideias de Leibniz (1983, 1989), Berkeley (1980, 2006) e Mach (1960, 1981), alicerçada por um estudo detalhado sob a ótica de André Koch Torres Assis (2013).

Ancorada pela epistemologia de Paul Feyerabend (2007), com contribuições de Borges e Amantes (2005), o texto segue com a fundamentação epistemológica, destacando esta compreensão para as ideias básicas sobre a mecânica, bem como razões para interpretar a experiência do balde de Newton.

O percurso metodológico segue com a apresentação virtual do Projeto Maleta Dinâmica e da V Live do PPGE-CN, trazendo um diálogo sobre ciência com o Professor André Koch Torres Assis, com o objetivo de compartilhar com os professores e graduandos as contribuições da Mecânica Newtoniana com a Maleta Dinâmica e a Mecânica Relacional, projetando-as nas oficinas da I Jornada Virtual do Ensino de Física.

Em seguida, o texto apresenta os resultados e discussões, construídos a partir das respostas aos questionários aplicados ao final das oficinas. Seguindo, também, com as

devolutivas via registro orais e escritos durante a apresentação das oficinas na *live* da I Jornada do Ensino de Física.

Dando continuidade, o texto segue com a apresentação do produto educacional e é finalizado com as considerações finais, enfatizando a devolutiva dos participantes das atividades propostas, com discussões dos efeitos e das consequências do cenário projetado nesta pesquisa.

Destaca-se que esse trabalho apresenta a proposta de aplicação da Mecânica Relacional no Ensino Médio, algo inovador no ensino de ciências.

INTRODUÇÃO

As ideias de progresso e de revolução científica são centrais nos estudos e métodos da prática científica, seja por adesão às mesmas ou por oposição a essas. Como conceito, a ideia de revolução científica é central à história e à filosofia da ciência, certamente a ponte que liga estas duas áreas do conhecimento que, por suas naturezas, são indissociáveis. Em particular, a revolução científica que se processou entre os séculos XVI e XVII se apresenta à história e à filosofia (geral e da ciência) como o episódio central no desenvolvimento da cultura e pensamento modernos. Cabe ressaltar que essa perspectiva é atual, tendo em vista que uma das interpretações dos processos de revolução científica foi apresentado por Kuhn (2007) em sua obra “A estrutura das revoluções científicas”. O surgimento da ciência moderna se tornou um ponto de referência que guia historiadores e filósofos na reflexão sobre os sentidos da modernidade, apresentando-lhes questões a respeito do que essa foi como movimento científico, histórico e social, o que exatamente aconteceu, e quais foram os seus determinantes (OSLER, M.J., 2000, p.3).

O Brasil no enfoque de desenvolvimento da Ciência, especialmente das Ciências da Natureza, mesmo diante de um processo de educação que tem uma realidade repleta de entraves, que implicam desde a falta de estrutura de laboratórios em escolas, bem como suporte para pesquisa, tem propiciado um campo de estudos para a Física, evidenciando a necessidade de que mais estudos sejam desenvolvidos nesta área.

A sociedade mundial de modo especial, têm vivenciado um momento de extrema dificuldade que perpassa a situação que impôs para professores e estudantes um distanciamento, fazendo com que as pesquisas em andamento fossem reformuladas em um processo de uso de tecnologia de comunicação, permeado pela internet, para o alcance de maior interação.

No ensino de ciências, o professor, como mediador de aprendizagens, também pode ser o autor da sua própria aprendizagem, construindo significados para o que faz e como aplica em sala de aula.

Dessa forma, a reflexão e a reconstrução de saberes para os docentes surgem como exercícios pedagógicos que implicam na forma de agir e de pensar, bem como em desenvolver conteúdos por meio de exposições e de métodos que possam ser de fácil assimilação, propiciando a junção entre teoria e prática.

A aplicação de conhecimentos do ensino de ciência, no âmbito da educação, implica o desenvolvimento de uma formação docente que perpassa a capacidade desse profissional de

entender os aspectos teóricos para um compartilhar conceitos (conteúdos) de forma mais adequada ao nível do estudante facilitando a assimilação desses, tendo um ponto de vista científico mais adequado para a realidade contemporânea em propostas epistemológicas.

Assim, é relevante compreender que métodos de ensino precisam ser entendidos para que a formação reflexiva seja capaz de propiciar mudanças de percepções e de postura, constituindo-se em uma crítica consciente vinculada ao ensino de ciência e as implicações sociais que a essa se relacionam.

O estudo das leis de movimento de Newton, bem como suas consequências, proporciona o autoaprimoramento não somente em relação à física, mas à ciência em geral, pois seus aspectos filosóficos, por exemplo, estimulam a percepção mais aprimorada dos eventos naturais e da interação entre o indivíduo e seu meio.

Nesse sentido, Newton (2004), por meio do seu livro *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, favorece a compreensão dos eventos físicos ao utilizar a noção de espaço absoluto, entendendo ser essa a condição ideal para que as leis de movimento possam ser aplicadas. No Universo de Newton, esse espaço absoluto é entendido como a referência na qual o movimento acontece, sendo inacessível aos sentidos. Em uma perspectiva teórica, o espaço absoluto propicia consistência e sustentação lógica para a denominada Mecânica Newtoniana, fornecendo uma possibilidade de referencial inercial.

A noção de espaço absoluto foi alvo de críticas por parte de vários filósofos, como Leibniz (1983, 1989) e Berkeley (1980, 2006), mas que à época encontraram pouca ressonância. Mas, como o tema estava em aberto, essa questão foi trazida, mais tarde, para a mecânica por Ernst Mach (1960, 1981), com uma análise crítica em que as propriedades inerciais dos corpos seriam em função do processo de interação desses com o conjunto de corpos do Universo, como o exemplo propiciado pelo experimento da água no balde, que teria como causa principal uma força real.

Este trabalho tem um caráter e uma abordagem qualitativos, por meio de um ambiente virtual com a participação por videoconferência, que se caracterizou por uma investigação qualitativa a partir da questão norteadora que implica entender quanto os participantes estavam dispostos a analisar seus métodos de interpretação dos eventos pela mecânica clássica.

A fonte direta para a coleta de dados foi o ambiente virtual por meio de conversas, questionários e registros via aplicativos digitais, constituídos através de oficinas ofertadas remotamente por meio de canais de interação da internet.

Cabe ressaltar que a finalidade deste trabalho foi ancorada por intermédio de uma pesquisa básica estratégica, por meio de um método axiomático indutivo, com o objetivo de

avançar no desenvolvimento do ensino de ciências sob a interpretação do experimento do balde de Newton na perspectiva da Mecânica Newtoniana e da Mecânica Relacional, de caráter descritivo e exploratório com as devolutivas dos participantes por meios virtuais.

O objetivo foi demonstrar a consistência lógica da experiência do balde de Newton nas interpretações da Mecânica Newtoniana e da Mecânica Relacional em uma proposta virtual em tempos de pandemia, verificando o quanto os professores e os estudantes de graduação estão dispostos a aceitar métodos distintos dos tradicionais.

Além das oficinas e videoconferências junto ao público participante, foi elaborado um material em formato de revista denominada: “Pelos caminhos da Mecânica Relacional: atividades para sala de aula” divulgação com atividades lúdicas com o intuito de articular a temática da experiência do balde de Newton pela perspectiva da Mecânica Relacional, buscando contribuir com uma formação cidadã crítica e autônoma, dando subsídios para que professores e graduandos se posicionem, de maneira consciente. A comparação entre as duas perspectivas (Mecânica Clássica e Mecânica Relacional) permite a reflexão sobre os fundamentos dos fenômenos observados, pois as diferentes interpretações exigem aprofundamento dos conceitos e crítica ao conhecimento anteriormente adquirido.

Já o cenário da pesquisa e caracterização dos participantes ocorreu de forma virtual, com a participação de professores da rede pública de ensino básico do Estado de Mato Grosso e Pará, com os graduandos das universidades de Mato Grosso, Paraíba, Goiás e Ceará, utilizando a análise textual discursiva das informações que propiciou um espaço para a interpretação e reconstrução de significados, que envolveu diversos elementos, especialmente, a compreensão da produção de novos conceitos sobre o fenômeno investigado, justamente porque cada sujeito compreende o mesmo fenômeno de forma diferente.

Em função da importância da Mecânica Newtoniana perante este trabalho e com o objetivo de trazê-la previamente aos participantes, foi pensado no Projeto Maleta Dinâmica e nas videoconferências com as oficinas, para que fosse possível refletir sobre alguns conceitos, bem como o resultado da aplicação da maleta nas escolas de Jaciara e Campo Verde, com turmas do Ensino Fundamental I e II.

Seguindo a interpretação de alguns autores que seguem expostos, uma das ações foi identificar as questões mais salientes e o diálogo suscitado entre professores e graduandos com a perspectiva de uma análise fortemente relacionada à história com os apontamentos de certas características epistemológicas das proposições compartilhadas na interpretação do experimento do balde de Newton, discutidas sob a ótica da epistemologia de Paul Feyerabend (2007), em uma análise histórica e filosófica.

Mais precisamente, esta pesquisa teve como ação avaliar em que medida interpretações sobre fenômenos fundamentais acerca do movimento dos corpos, como a experiência do balde de Newton, colaboram para esclarecer e para aprofundar os conhecimentos em ciências. A Mecânica Relacional é uma das propostas que permitem a crítica reflexiva, por ser uma teoria alicerçada justamente nos fundamentos das ações físicas que resultam no movimento dos corpos.

Mediante o exposto, destaca-se por fim que a referida pesquisa proporcionou a oportunidade de perceber que a física, assim como as demais áreas do conhecimento, não é uma ciência construída sobre certezas, e que existem muitos assuntos controversos, entre esses a relatividade do espaço e do tempo, proporcionando alguns questionamentos sobre essas certezas.

Ao saber da existência de uma teoria que contradiz a teoria hegemônica, surgem certas reflexões sobre como o ensino de ciências vem sendo tratado na educação, e em alguns casos, oriundas de teorias construídas a partir de bases sólidas, embora dogmáticas, levantando alguns questionamentos sobre a problemática que envolve o ensino e a aprendizagem, principalmente, na educação básica, com projeção no ensino de física.

O intuito foi permitir aos interlocutores o acesso às outras teorias que promovem o conhecimento humano a outros patamares do conhecimento. A adoção de uma teoria única, sem reflexões, sem críticas, pode levar o sujeito aprendente a um campo seguro, mas superficial.

Assim este trabalho teve um caráter e uma abordagem qualitativa por meio de um ambiente virtual com 50 participantes sendo 33 professores na primeira oficina e 17 graduandos na segunda oficina da I Jornada Virtual do Ensino de Física, por meio de conversas on-line, que se caracterizou por uma investigação qualitativa a partir da questão norteadora que remete sobre o quão os participantes estavam dispostos a se libertar dos métodos tradicionais de interpretação dos eventos pela Mecânica Clássica.

1 MECÂNICA NEWTONIANA

Quando o assunto na física é direcionado ao estudo da mecânica, não há como deixar de mencionar a produção de Isaac Newton (2004), considerada como um divisor de águas da ciência, cujo legado é considerado como um dos mais importante da humanidade. No estudo do movimento dos corpos, Newton publicou a obra *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*¹.

Isaac Newton, quando produziu sua obra, atuava como professor de matemática no Trinity College, em Cambridge. Nesta obra, Newton apresenta as bases da física e da astronomia por intermédio de uma linguagem geométrica e matemática, de forma dedutiva, ou seja, a partir de proposições gerais, nas quais as propriedades mecânicas são demonstradas por meio de teoremas. Em seu conteúdo, Newton estabelece os fundamentos essenciais, em que sistematiza um método específico para estudar a natureza do movimento dos corpos por meios matemáticos.

É importante ressaltar que a obra foi escrita em latim, por conta do seu público-alvo, que era de especialistas em matemática e mecânica, astrônomos, filósofos e graduandos universitários. O *Principia*, como é conhecido, foi dividido em três livros, os quais foram precedidos por um capítulo preliminar com as definições e os axiomas², que se conhecem como as Leis do Movimento. Assim, Newton dividiu esta parte com oito definições ao longo do texto, que introduz o conceito de espaço e tempo absolutos.

No primeiro livro são destacados os “Axiomas e as Leis do Movimento”, conhecidos por aqueles que se dedicam ao estudo sobre o movimento dos corpos com foco na Mecânica Clássica. Em seu primeiro axioma, Newton afirma que cada objeto continua fazendo o que

¹ Obra de física teórica que tem importância histórica, além de um reconhecido valor pedagógico, tendo sido publicada, pela primeira vez, em 1687 e foi escrita em latim. Nesta obra, Newton expõe seu método que deriva as causas de todas as coisas, a partir dos princípios mais simples possíveis, comprovados pelo estudo dos fenômenos. A versão utilizada para leitura e citação ao longo deste estudo é a versão de 2004, em tradução.

² De acordo com dicionário Houaiss: **axiomas** são **verdades inquestionáveis** universalmente válidas, muitas vezes utilizadas como princípios na construção de uma teoria ou como base para uma argumentação. A palavra axioma deriva da grega *axios*, cujo significado é digno ou válido. Em muitos contextos, axioma é sinônimo de postulado, lei ou princípio. Os sistemas axiomáticos têm papel de destaque nas ciências exatas, nomeadamente na Matemática e na Física, sendo os resultados demonstrados nas múltiplas teorias dessas ciências usualmente designados por teoremas ou leis. Entre as diversas axiomáticas da Matemática e da Física ganharam notoriedade os Princípios de Euclides na Geometria Clássica, os Axiomas de Peano na Aritmética, as Leis de Newton na Mecânica Clássica e os Postulados de Einstein na Teoria da Relatividade.

estiver fazendo (persevera, num sentido mais fiel à interpretação das leis de movimento) em seu estado de repouso ou de movimento, a menos que uma força seja exercida sobre esse. No original *The Principia* (1999):

Everybody perseveres in its state of rest, or of uniform motion in a right line, unless it is compelled to change that state by forces impressed thereon.

A partir dessa premissa surge a propriedade da inércia, que passa a ser seu primeiro axioma, ou a primeira lei. Trata-se de uma lei que estabelece as condições do referencial na Mecânica Clássica.

O segundo axioma estabelece que a força resultante sobre um objeto é igual à taxa de variação de seu momento linear em um referencial inercial, propondo um método para interpretação matemática do movimento de um corpo. No original *The Principia* (1999):

The alteration of motion is ever proportional to the motive force impress'd; and is made in the direction of the right line in which that force is impress'd.

O terceiro axioma estabelece que para toda força que age sobre um objeto há uma força correspondente de igual intensidade e direção, mas em sentido contrário, ou seja, é uma lei que estabelece a interação entre os corpos. No original *The Principia* (1999):

To every action there is always opposed an equal reaction: or the mutual actions of two bodies upon each other are always equal, and directed to contrary parts.

Isaac Newton, em seu segundo livro, aborda o movimento dos corpos e sua relação com a resistência e a velocidade. Nesta parte central de sua obra, o primeiro capítulo destaca o movimento de objetos em um vácuo, ou seja, objetos que não encontram resistência ao se mover.

No terceiro livro, sobre “O Sistema do Mundo”, que destaca os princípios da astronomia, Newton traz a derivação da lei da gravidade, algumas implicações para as órbitas dos Planetas, a Lua e os equinócios e sua relação com a teoria da gravitação, bem como o estudo dos Cometas e encerra com o texto do “Escólio Geral”, que se refere a um contexto singular do pensamento de Newton em função de vários aspectos, que o motivou a escrevê-lo, com publicação em sua segunda edição.

Assim, durante a vida de Isaac Newton, os *Principia* contaram com três edições, sendo a primeira em 1678, com cerca de 300 a 400 cópias, seguida pela edição de 1713, revista,

alterada e ampliada pelo autor que, por sua vez, foi seguida pela edição de 1726, revista por Newton e editada por Henry Pemberton, cuja tradução para o inglês só apareceu em 1729 depois da sua morte.

Segundo Pires (2008), a mecânica foi o primeiro sistema de conhecimento a alcançar o *status* de ciência teórica e empírica. Por outro lado, essa apresenta alguns problemas conceituais, que são interessantes de serem estudados no domínio da lógica e da filosofia da ciência. Todos os problemas sobre o status de uma lei ou teoria física, a relação entre conceitos teóricos e empíricos, e assim por diante, aparecem de uma forma particularmente clara na mecânica newtoniana, pois não se necessita de um conhecimento científico aprofundado para apreciá-la. No Universo Newtoniano, pela primeira vez, a física terrestre e a física celeste são identificadas e unificadas.

Mediante o exposto, é importante ressaltar que apesar de Isaac Newton ser o primeiro a deixar uma obra completa sobre as Leis da Mecânica, por intermédio de fórmulas matemáticas, que se harmonizam com a natureza, ele não tinha certeza de que o mundo era matemático, como haviam dito Kepler, Galileu e Descartes, isso pelo fato de que quando obtinha resultados, a partir de cálculos abstratos, insistia que esses deveriam ser verificados experimentalmente.

Dessa forma, Newton destacava que o objetivo da ciência era entender como funcionava a natureza e não como essa se comportava, fazendo dele o responsável pela maior revolução científica não só teórica como prática.

Uma das principais características da Mecânica Newtoniana foi utilizar os *Principia* como base axiomática para a dedução matemática dos fenômenos, justamente para que não haja confusão com a filosofia mecanicista, que era tratada por uma filosofia da Natureza, que buscava explicar os fenômenos naturais, utilizando mecanismos imaginários com partículas invisíveis da matéria, como foi mencionado por Pires (2008).

Assim, Pires (2008, p. 193) expõe que a Mecânica Newtoniana representa uma descrição quantitativa direcionada ao movimento dos corpos, como descreve Isaac Newton em seu prefácio:

Eu gostaria de poder derivar os demais fenômenos da Natureza pelo mesmo tipo de raciocínio baseado nos princípios mecânicos, pois sou levado a crer, por várias razões, que todos eles podem decorrer de certas forças pelas quais as partículas dos corpos, por causas ainda desconhecidas são mutuamente impelidas umas para as outras e se juntam em figuras regulares, ou são repelidas e se afastam umas das outras. Essas forças sendo desconhecidas, os filósofos têm pesquisado a Natureza em vão; mas espero que os princípios aqui apresentados possam fornecer alguma luz, seja para esse ou algum outro método mais verdadeiro de Filosofia.

No original *The Principia* (1999):

I wish we could derive the rest of the phenomena of Nature by the same kind of reasoning from mechanical principles. For I am induced by many reasons to suspect that they may all depend upon certain forces by which the particles of bodies, by some causes hitherto unknown, are either mutually impelled towards each other and cohere in regular figures, or are repelled and recede from each other; which forces being unknown, Philosophers have hitherto attempted the search of Nature in vain. But I hope the principles here laid down will afford some light either to that, or some truer, method of Philosophy.

Percebe-se, por meio do registro acima, que Newton acreditava em outras forças de pouco alcance e não somente universais, mas destaca que essas obedeciam às Leis Matemáticas. Ele não define o tempo, o espaço e o movimento como conceitos conhecidos por todos, mas começa o livro definindo certas palavras que, para ele dá explicações no sentido de como essas serão usadas.

Contudo, cabe ressaltar a importância de se analisar o estilo newtoniano frente ao seu peculiar método indutivo e hipotético-dedutivo, em uma ordem predeterminada ao elaborar sua física, envolvendo a análise matemática, com modelos e as devidas aproximações no estudo na natureza, que foram, posteriormente, reconhecidos por muitos filósofos e historiadores da ciência e adaptados por vários outros cientistas.

Assim, o historiador da ciência Cohen (2002, p. 171) identificou essa utilização dos métodos supracitados, elencados a outros aspectos de cunho epistemológico, esclarecendo a sobre o alcance deste método:

(...) Newton conseguiu produzir um sistema matemático e princípios matemáticos que puderam então ser aplicados à Filosofia Natural, isto é, ao sistema do mundo e as suas regras e dados, tal como determinados pela experiência. Esse estilo permitiu que Newton tratasse problemas das ciências exatas como se fossem exercícios de matemática pura, e ligasse a experimentação e a observação à matemática de maneira singular e fecunda (COHEN *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p. 171).

As principais características do estilo newtoniano seriam a matemática e o uso de experimentos, chegando ao conhecimento que Newton tinha sobre o Universo.

Segundo Cohen (2002, p. 164): “O novo método era predominantemente experimental e diziam basear-se na indução, era também quantitativo e não meramente observacional. Por conseguinte, poderia levar a leis e princípios matemáticos.”

Para Assis (1998), a Mecânica Newtoniana é baseada nos conceitos de tempo, de espaço, de velocidade, de peso, de aceleração, de massa, de força, entre outros, conforme a obra *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, e que sempre houve uma discussão entre filósofos e cientistas muito antes de Isaac Newton sobre o movimento relativo e absoluto.

Em nosso livro consideramos apenas Newton e os que se seguiram a ele. O motivo para isto é o sucesso impressionante obtido pela Mecânica Newtoniana e o novo padrão introduzido por Newton em toda esta discussão, com seus argumentos dinâmicos para defender o movimento absoluto. Podemos citar, em especial, sua famosa experiência do balde. Este é um dos temas principais deste livro (ASSIS, 1998, p. 03-04).

O autor define a mecânica como o ramo do conhecimento que trata do equilíbrio e do movimento dos corpos, e que nos últimos trezentos anos esta área da física tem sido baseada e ensinada conforme os *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*.

Em sua obra, Assis (1998) destaca várias aplicações da mecânica Newtoniana como movimento retilíneo uniforme, força constante, queda livre, carga se movendo em um capacitor ideal, trem acelerado, movimentos oscilatórios, mola, pêndulo simples, movimento circular uniforme, órbita circular de um planeta, dois globos, pêndulo carregado eletricamente e a experiência do balde, que futuramente receberão críticas de Ernst Mach com projeção sob o ponto de vista da Mecânica Relacional, oferecendo um enfoque diferente.

1.1 TEMPO E ESPAÇO ABSOLUTOS

Outro assunto de relevância significativa é a questão sobre o espaço e o tempo. Ao encerrar a parte dedicada às definições nos *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, Newton apresentou sua interpretação sobre tempo e espaço, separando-os em quantidades absolutas que ele chamou de verdadeiras e relativas.

Para Newton, o tempo é absoluto, universal, real e matemático, uma vez que é adotado como referência em interpretações matemáticas. Por si só e por sua natureza o tempo flui uniformemente, independentemente, de qualquer coisa externa. Newton foi aluno de Isaac Barrow, que foi o primeiro a considerar o tempo como uma variável universal e absoluta da natureza.

Para Newton, o tempo era independente dos diferentes métodos de observações e de medidas, podendo ser representado por uma linha reta geométrica, e que no tempo absoluto, a sequência cronológica de eventos e os intervalos de tempo são, em princípio, constantes.

Newton reconheceu que, do ponto de vista prático, o tempo absoluto é medido pelo movimento, podendo ser mensurado, por exemplo, pelo movimento dos corpos celestes e, assim, observou que não se pode medir o tempo absoluto, pois o que se mede é o tempo relativo.

Em suas palavras, o autor enfatiza que:

Existem ambiguidades nas definições dele. Por exemplo, dizer que o tempo flui igualmente ou suavemente significa que deve existir uma maneira independente de determinar que é “igual” e o que é “suave”. E que esses conceitos, por sua vez envolvem um conhecimento do tempo (PIRES, 2008, p. 197).

O pai da ciência moderna organizou o espaço como um palco vazio. Newton dizia que o espaço era a moldura para tudo o que acontece no Cosmos, considerando-o passivo, absoluto, eterno e imutável. Para Newton (2004), o espaço é absoluto em sua própria natureza, sem relação com qualquer coisa externa, mantendo-se sempre semelhante e imóvel. O espaço relativo, por sua vez, é dado por certa medida ou dimensão móvel do espaço absoluto, que os sentidos determinam por sua posição em relação aos corpos. Sendo assim, o espaço absoluto existe independentemente dos objetos materiais, enquanto o espaço relativo é aquele que se determina pela posição dos corpos materiais.

Newton também tratava de movimento e o considerava, por sua vez, ora absoluto e ora relativo, enfatizando que esse movimento seria a translação de um corpo de um lugar absoluto para outro e continuou detalhando que o movimento relativo seria a translação de um lugar relativo para o outro.

Com esses conceitos, Newton estava reforçando, por intermédio de seus exemplos, que quando se mede a velocidade de um corpo se está medindo em relação a um ponto escolhido arbitrariamente. Com isso, ele afirma que o movimento pode ser acelerado ou retardado, mas a relação do transcorrer do tempo será absoluta, sem nenhuma alteração.

Isaac Newton afirma que se pode distinguir o repouso absoluto do repouso relativo por suas propriedades, causas e efeitos. O mesmo pode ser considerado para a comparação entre movimento absoluto e movimento relativo. Há, também, a possibilidade de haver regiões distantes, composta por estrelas fixas ou além dessas, em relação à qual um corpo esteja em repouso absoluto.

Mediante o exposto, Newton reconhece que é impossível saber, pelas posições dos corpos, uns em relação aos outros, em certa região do Universo, se esses mantêm a mesma posição em relação a um corpo remoto e chega à conclusão de que o repouso absoluto não pode ser determinado a partir da posição dos corpos na região. O movimento absoluto de certo corpo tampouco pode ser determinado por sua translação se estiver aparentemente em repouso. Newton acrescenta que o movimento é gerado ou alterado somente quando uma força não nula for aplicada sobre o corpo de prova.

Em síntese, para Isaac Newton, o movimento absoluto não pode ser observado cinematicamente (embora o conceito de cinemática é posterior a Newton). Para ele não tem como estudar o movimento dos corpos sem examinar as forças que agem sobre esses e somente os movimentos relativos podem ser detectados por tais observações.

1.2 O MOVIMENTO ABSOLUTO E O EXPERIMENTO DO BALDE

Ao falar dos efeitos que distinguem movimento absoluto do relativo, Isaac Newton destaca as forças de recessão do eixo no movimento circular. Para ele, não existem tais forças em um movimento puramente relativo, afirmando que essas estão presentes em um movimento circular e que o movimento de rotação ou precessão pode ser sempre detectado.

Newton apresentou um argumento dinâmico, baseado em forças inerciais que, para ele, permitiam demonstrar a existência do movimento absoluto. Assim, ele utilizou como exemplo o experimento do balde.

No experimento supracitado, Newton utilizou um balde com água suspenso por uma corda que, ao ser torcida, o balde gira rapidamente após ser solto. Nesse movimento a água passa a girar com a mesma velocidade do balde. Quando a água está em movimento surge uma tendência para essa de se afastar do centro de rotação, formando um parabolóide de revolução.

Ao parar o balde, a água continuará girando por algum tempo em relação ao espaço absoluto (segundo a perspectiva da Mecânica Clássica), mantendo a forma côncava. Imagine um observador na borda desse balde, ele pode dizer se a água está girando em relação ao espaço absoluto, simplesmente olhando a forma de sua superfície. Nenhuma referência a qualquer outro objeto no Universo é necessária.

Segundo Newton, a curvatura vai depender da rotação absoluta da água, rotação em relação ao que ele considerou como o espaço absoluto. Se, por outro lado, o balde estivesse fixo e o Universo estivesse girando no sentido oposto, conforme sua teoria a superfície da água permaneceria plana. Para ele, a superfície côncava é uma prova de que é a água que está em movimento, sendo uma demonstração da realidade da rotação absoluta. Para maiores detalhes, vide o apêndice.

Newton propôs uma experiência do pensamento. Com isso, ele forneceu um segundo mecanismo para distinguir um sistema de referência em rotação de um outro fixo:

Se duas esferas mantidas em uma dada distância uma da outra por meio de uma corda que as conecta girassem em torno do centro de gravidade comum, poderíamos, a partir da tensão na corda, descobrir o esforço das esferas para se afastarem do eixo de rotação e desse esforço, calcular a quantidade de movimento circular (PIRES, 2008, p. 200).

Newton apresentou seus axiomas do movimento após preparar o seu caminho. Ele chegou a essas com o objetivo de explicar o movimento dos corpos celestes e só mais tarde passaram a ser usadas nos mais diversos tipos de problemas mecânicos. Com seus axiomas válidos, em relação ao espaço e tempos absolutos, fica implícito um procedimento que estabelece um sistema de referência coincidente com o espaço absoluto ou se movendo, uniformemente, em relação a esse que, se denominam de sistemas inerciais.

Soares (1998) enfatiza que o conceito de espaço absoluto permanece entranhado em quase todas as teorias, com traços deste conceito em teorias contemporâneas. O autor parte da premissa de que uma discussão que norteia a interpretação dos fundamentos da mecânica clássica é a experiência do balde de Newton.

Mediante o exposto, Soares (1998) apresenta algumas ideias que permeiam o pensamento científico atual, proposto pelo físico da Universidade de Campinas, o professor André Koch Torres Assis, que estabelece as bases do que ele considera uma mudança paradigmática na física, que denomina uma nova mecânica com a implementação das ideias de Leibniz, Berkeley e Mach.

André Assis (1998), em sua obra *Mecânica Relacional*, descreve a experiência do balde e o conceito de espaço absoluto inerente à experiência, na visão Newtoniana, com o tema subjacente à *Mecânica Relacional*, introduzindo o movimento relativo.

Para interpretar o experimento, Newton destaca o movimento relativo máximo e o movimento absoluto nulo e, descreve o experimento destacando que, aos poucos, o movimento relativo diminui e o absoluto aumenta, até a situação final, em que o movimento relativo é nulo e o movimento absoluto é máximo, chegando à conclusão de que a água tende a se afastar do eixo de rotação, não estando relacionada com seu movimento relativo, e que só poderia estar relacionado com algo externo que para ele era o espaço absoluto.

Conforme Soares (1998), a explicação completa da experiência do balde, conforme André Assis, é feita em termos de forças reais: a água do balde passa a ter uma superfície côncava em função de sua interação gravitacional com o resto do Universo, e finaliza com um balanço positivo sobre a *Mecânica Relacional* na ótica do experimento do balde.

1.3 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE A MECÂNICA NEWTONIANA

Do ponto de vista filosófico, várias críticas foram feitas sobre os axiomas de Newton. Filósofos e matemáticos diziam que a estrutura lógica da mecânica newtoniana parecia desafiar todas as tentativas para se chegar a uma análise completa que envolvia as sutilezas lógicas e reformulações de propostas não conclusivas apresentando mais problemas do que soluções.

Toda essa discussão ocorre pelo fato de que os axiomas de Newton se referem a um espaço e tempo absolutos, ou seja, por intermédio de um sistema que se move, uniformemente, em relação ao espaço absoluto, que hoje se denomina de sistema inercial, no qual Isaac Newton não forneceu informações de como encontrá-lo.

Seu primeiro axioma considera o espaço em que ocorre o movimento de uma partícula na ausência de forças e os críticos queriam saber como que uma partícula está ou não sob ação de alguma força, bem como qual seria o sistema de referência que valeria para o primeiro axioma. Outra crítica foi que Newton não forneceu um mecanismo para medir força, isto é, como chegar a uma escala quantitativa da força. E uma grande discussão filosófica sobre o tema foi suscitado.

Como o segundo axioma de Newton tem como partida o conceito de força, se faz importante ressaltar que, no passado, as pessoas já sabiam o que era erguer um peso ou empurrar um objeto e que ação entre corpos aparece quando os corpos interagem, quando estão em contato ou separados no espaço. Assim, para verificar o segundo axioma foram utilizadas as condições ideais em que o corpo, após receber determinada interação, sofrerá alteração de movimento.

O físico e filósofo austríaco Ernst Mach (1838-1916), na segunda metade do século XIX criticou a definição de massa de Isaac Newton como “circular” e sem significado, propondo que poderiam definir essa grandeza em termos de aceleração, sem a necessidade do uso de uma definição de força. Considerou a interação mútua de dois corpos, suficientemente longe de todos os outros corpos do Universo, como se pudessem ser tratados como isolados. Com isso, afirmou que a razão das massas dos dois corpos seria igual à razão inversa do valor numérico de suas acelerações com um corpo em direção ao outro.

Assim, uma objeção apresentada posteriormente, é que a definição de Mach implicava na existência de forças, cuja natureza era um tema de disputa, no qual, por exemplo, não havia realmente um meio de saber se força é independente da massa na qual essa atua.

O físico prussiano Gustav Kirchhoff (1824-1887), nos meados do século XIX, interpretou o segundo axioma de Newton como uma definição de força. Ele acreditava que o trabalho dos físicos fosse fornecer apenas uma descrição simples e essencial dos fenômenos da natureza e não em termos de modelos ou princípios. Esta ideia já havia sido apresentada, anteriormente, pelo matemático francês Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759) e escreveu em 1756 que: “falamos de forças somente para esconder nossa ignorância”, comentando que o segundo axioma de Newton era apenas uma definição, embora fosse considerada por Newton como um axioma importante da Natureza, fazendo com que todos os resultados da mecânica clássica seguissem essa definição, em vez de um axioma da Natureza deduzido experimentalmente. Assim, o comportamento observado nos sistemas mecânicos reais estaria de acordo com os resultados derivados do formalismo, isto é, deduzidos pela definição de força.

Mediante essa interpretação, a descoberta de Newton não foi que $\vec{F} = m\vec{a}$, visto que isso seria uma definição de força. O que ele descobriu, segundo essa interpretação, foi que os axiomas da física podem ser expressos de uma maneira mais simples em termos do conceito de força, e que a principal desvantagem dessa interpretação é que $F = m.a$ define somente a força total atuando em um corpo, enquanto estavam interessados nas forças componentes.

Para Pires (2008), importa discutir algumas das dificuldades formais da teoria newtoniana, como a formulação dos axiomas, em seu sentido mais geral, pois nenhuma especificação é feita sobre o sistema de referência em relação ao qual as acelerações mencionadas, nos dois primeiros axiomas, devem ser medidos (embora, como foi dito, Newton considerasse sistemas em repouso, ou em movimento retilíneo uniforme, relativos ao espaço absoluto).

Atualmente, os sistemas de referência aos quais os axiomas se aplicam são chamados de sistemas inerciais que são utilizados como um argumento circular. Se as leis valem em um sistema, essas também valerão em qualquer outro sistema, movendo-se uniformemente em relação ao primeiro (princípio da relatividade de Galileu) e que a Terra, especificamente falando, não é um sistema inercial, mas é bem próxima de um.

O tempo empregado pela mecânica newtoniana se aplica, uniformemente, a todos os sistemas inerciais, ou seja, um tempo absoluto. Assim, é possível introduzir uma medida uniforme de tempo, segundo a qual, todas as partículas livres em movimento se deslocam não só ao longo de linhas retas, mas também com velocidades constantes.

Enquanto o espaço absoluto de Newton tinha propriedades inteiramente independentes do conteúdo de massa e energia do Universo. De acordo com esse, era a reação desse espaço absoluto sobre um objeto acelerado, uma espécie de efeito de resistência que produzia a inércia.

De acordo com exposição de Pires (2008), esse ponto de vista foi contestado pelo bispo e filósofo irlandês George Berkeley (1685-1753), que rejeitava o espaço, o tempo e o movimento absolutos propostos por Isaac Newton, registrando Pires (2008, p. 223) que Berkeley escreveu:

Não obstante o que tem sido dito eu devo confessar que me parece que não pode haver movimento a não ser relativo; assim para concebermos movimento precisamos de pelo menos dois corpos, onde a distância ou a posição de um em relação ao outro possa variar. Assim se existisse somente um corpo ele não poderia ser movido (PIRES, 2008, p. 223).

Assim, conforme registros de Pires (2008), Berkeley acreditava que a força era um termo conveniente para raciocínio e para o cálculo do movimento dos corpos, mas não para a compreensão da natureza e do movimento em si mesmo.

Para esse autor, a força tinha o mesmo status em ciência que os epiciclos em astronomia. Embora o uso desses termos pudesse levar a resultados corretos, isto não significa que fossem parte da Natureza. Ele considerava que a “filosofia mecanicista” (ou seja, a física) não fornecia explicações causais, como a causa real do movimento dos corpos, por exemplo, enfatizando a importância da distinção entre hipótese matemática e a essência das coisas.

Mediante o exposto, Pires (2008) destaca que, embora tenha havido muita discussão filosófica sobre os conceitos de espaço e tempo absolutos, tem-se que presumir a existência desses entes para elaboração de uma teoria científica sobre movimento. E enfatiza que existem duas possibilidades para a natureza do espaço e do tempo. Diz que o espaço pode ser algo em si mesmo, com suas propriedades, e independentes dos objetos e eventos ou pode ser apenas uma relação entre objetos.

Na primeira descrição, para o autor, o espaço é um ente no qual os objetos do Universo existem e se movem. Chamar o espaço de um ente é afirmar que entre os elementos pertencentes ao Universo, o espaço é um desses. Assim, a ideia de espaço vazio só faz sentido se o espaço é uma coisa em si mesma, na qual se pode imaginar um Universo sem matéria. Já o conceito de posição e de movimento absolutos faz sentido, porque se teria posição e movimento relativos ao próprio espaço.

Na segunda descrição, não pode existir um Universo vazio, sem a matéria. Nesse caso, não existiria o vazio. Assim, uma descrição similar do tempo é possível. Se todos os processos

físicos não constituíssem o Universo, ou seja, tudo o que existe fisicamente, como as mais variadas formas de matéria, como planetas, estrelas, galáxias e os componentes do espaço intergaláctico como no primeiro caso, o tempo em si teria uma existência independente de objetos e eventos e o tempo seria uma das componentes que constituem o Universo.

Nesse sentido, na segunda descrição, o tempo é representado pela mudança em objetos físicos. Mas na situação em que o movimento não acontece, o tempo não passa. Assim, não se pode dizer que todos os processos físicos do Universo pararam por alguns minutos, por exemplo.

Segundo Pires (2008), se as observações de sistemas mecânicos são feitas em sistemas não inerciais, não concordariam com os resultados preditos pela teoria, na interpretação que desconsidera a ação à distância e o espaço vazio. Assim, as observações podem naturalmente ser explicadas se a aceleração relativa entre o sistema de referência do observador e outros sistemas inerciais é conhecida.

Uma alternativa foi introduzir o conceito de forças fictícias, como a força inata, e, assim, impor a validade do formalismo a todos os observadores. Uma afirmação adicional e independente pode ser feita em relação aos sistemas inerciais, de que esses estão fixos ou se movendo com velocidades constantes relativas à massa espalhada no Universo e às estrelas distantes.

O ponto de vista sugerido, inicialmente, por George Berkeley e, depois, de uma maneira mais rigorosa por Ernest Mach, foi que a inércia era uma consequência da existência do resto do Universo e era gerado por uma interação com os demais corpos do Universo.

Explica Pires (2008) que, para Mach, a ideia de um espaço absoluto que atua sobre um objeto de prova, embora as teorias não contemplem tal atuação, na verdade, é um entrave para o pensamento científico. Segundo Mach, se o Universo consistisse somente de uma partícula, essa partícula não teria inércia, pois a partícula isolada não teria matéria com a qual interagir.

Enquanto sob o ponto de vista newtoniano, inércia é uma propriedade intrínseca da matéria, para Mach, inércia era uma característica de como um objeto interage com outros objetos. Sistemas inerciais seriam, então, definidos como aqueles fixos para observadores que não teriam aceleração em relação à massa distribuída do Universo.

Nessa abordagem se pode tratar a força centrífuga como uma força real ou atribuí-la à interação com os demais corpos do Universo. Entretanto, Mach nunca apresentou os detalhes de como essa nova interação entre estrelas distantes e objetos na Terra deveriam se comportar.

Sendo assim, a controvérsia envolvida nessa interpretação pode melhor ser entendida analisando a experiência do balde de Newton. Como foi dito, a superfície côncava da água é

uma prova de que é a água que está em movimento, uma demonstração da realidade da rotação absoluta.

No entanto, segundo a perspectiva de Mach³, a superfície da água ficaria côncava nos dois casos, mesmo se fosse o Universo, que estivesse em rotação. Enquanto, se não houvesse as estrelas fixas, a superfície da água permaneceria sempre plana, mesmo que o balde estivesse girando.

Para Pires (2008), é importante observar que, apesar das dificuldades filosóficas sobre o significado do segundo axioma, não existe nenhuma ambiguidade quanto ao seu uso. A prova mais convincente disso pode ser encontrada a todo momento, no voo dos aviões, nas operações de envio de sondas espaciais à Lua e a alguns dos Planetas, nas previsões de eclipses e em muitos outros exemplos. Ele finaliza dizendo que, como construção lógica, a mecânica newtoniana permanece perfeita e inviolável, uma contradição, tendo em vista as inúmeras críticas à teoria. Entretanto, como modelo da natureza, essa deve ser usada no seu devido limite.

³ R. Newburgh, Inertial forces, absolute space, and Mach's principle: the genesis of relativity, *American Journal of Physics*, 75, 427 (2007), doi: 10.1119/1.2431185.

Herbert I. Hartman, Charles Nissim-Sabat, On Mach's critique of Newton and Copernicus, *American Journal of Physics*, vol. 71, 1163 (2003), doi: 10.1119/1.1593657.

2 MECÂNICA RELACIONAL

A Mecânica Relacional é uma nova formulação da física, uma formulação alternativa à Mecânica Clássica de Isaac Newton e à Relatividade de Einstein com a implementação quantitativa das ideias de Leibniz, Berkeley e Mach. Nesse trabalho, não serão abordadas as teorias da relatividade de Einstein.

A história da Mecânica Relacional inicia com um estudo detalhado do professor André Koch Torres Assis (1998) sob a ótica de Leibniz, Berkeley e Mach levando-o a implementar um formalismo alternativo à Mecânica Clássica de Newton. Em suas palavras, relata que:

Por mecânica relacional entendemos uma formulação da mecânica (o estudo do equilíbrio e do movimento dos corpos) baseada apenas em quantidades relativas (como a distância entre os corpos que estão interagindo e as velocidades radiais entre eles), evitando o uso de conceitos como o espaço e o tempo absolutos de Newton (ASSIS, 1998, p. 199).

Posteriormente, Assis apresenta alguns conceitos primitivos que são considerados como a base para as definições mais complexas. Tais conceitos são de massa gravitacional, carga elétrica, distância entre corpos materiais, tempo entre eventos físicos e a força ou interação entre corpos materiais. E é importante destacar que, na referida obra, não foram introduzidos os conceitos de inércia ou de massa inercial, de sistemas inerciais de referência, nem conceitos de espaço e de tempo absolutos.

A Mecânica Relacional é alicerçada por três postulados ou axiomas, que Assis (1999, p. 200) expressa e podem ser apresentados da seguinte forma:

- I - Força é uma quantidade vetorial que descreve a interação entre corpos materiais.
- II - A força que uma partícula pontual A exerce sobre uma partícula pontual B é igual e oposta à força que B exerce sobre A e é direcionada ao longo da linha reta conectando A até B.
- III - A soma de todas as forças de qualquer natureza (gravitacional, elétrica, magnética, elástica, nuclear, ...) agindo sobre qualquer corpo é sempre nula em todos os sistemas de referência.

Para Assis (1998), o primeiro postulado vem ao encontro da qualificação da natureza de uma força, destacando que essa é vetorial⁴, com módulo, direção e sentido, enfatizando neste

⁴ Não basta ter módulo, direção e sentido. Para ser vetor é preciso respeitar as regras da álgebra vetorial.

postulado, que força é uma interação entre corpos materiais e não a interação de um corpo com o “espaço”.

Já o segundo postulado é semelhante ao axioma da ação e reação de Isaac Newton, em que ele explica que todas as forças entre partículas, não interessando sua origem se é elétrica, elástica, gravitacional, entre outras, sendo direcionadas ao longo da linha reta conectando os corpos.

E é no terceiro postulado que Newton apresenta a fundamental mudança em relação à mecânica newtoniana, chamando-a de princípio de equilíbrio dinâmico, no qual destaca que a soma de todas as forças que atuam em um corpo será nula, mesmo se o corpo estiver em movimento ou acelerado em relação aos outros corpos, em relação a nós mesmos ou a qualquer outro referencial.

Assim, Assis (1998) ressalta que há uma vantagem, no terceiro postulado, com o segundo axioma do movimento de Newton, pois nesse não são introduzidos os conceitos de inércia, de massa inercial, de espaço absoluto nem sistema de referência inercial. Enquanto na mecânica newtoniana a soma de todas as forças é igual a variação do momento linear, ou seja, o produto da massa inercial pela velocidade com o tempo em relação ao espaço absoluto e a um sistema de referência inercial.

Mediante o exposto, se fez relevante e necessário destacar que estes conceitos são propostos com o intuito de investigação do movimento dos corpos. Assim, percebe-se que tais conceitos são válidos em todos os sistemas de referência, enquanto o segundo axioma de Newton só é válido para sistemas inerciais, caso contrário acontece somente com forças imaginárias, que Newton atribuiu por inatas.

De acordo com o terceiro postulado supracitado, a Mecânica Relacional chega a um outro resultado coerente com as ideias de Ernst Mach, conforme segue:

Podemos multiplicar todas as forças por uma mesma constante (tendo ou não tendo dimensões) sem afetar os resultados, já que as únicas coisas que vão interessar são as razões entre cada par de forças. Nunca podemos saber o valor absoluto de qualquer força, mas apenas quantas vezes uma força é maior ou menor do que a outra. As dimensões das forças também ficam indefinidas, desde que todas as forças tenham a mesma dimensão. Neste livro utilizamos apenas forças especificadas com a unidade de Newton N, para tornar tudo similar à mecânica newtoniana, embora isto não seja obrigatório ou necessário (ASSIS, 1998, p.202).

Assim, é importante deixar claro que o terceiro postulado dispensa conceitos absolutos e é válido em todos os sistemas de referências, inclusive os não inerciais da Mecânica Clássica, e que os três postulados podem ser substituídos por um único em termos de energia:

A soma de todas as energias de interação (gravitacional, elétrica, elástica...) entre qualquer corpo e todos os outros corpos no universo é sempre nula em todos os sistemas de referência (ASSIS, 1998, p. 203).

Faz-se importante enfatizar que os desenvolvimentos matemáticos inerentes à Mecânica Relacional foram obtidos por Assis (1998), bem como as principais consequências diretas da Mecânica Relacional em comparação à mecânica newtoniana são resumidas por Assis (1998, p. 228-229) da seguinte maneira:

- Derivamos equações similares à primeira e à Segunda Leis de Newton.
- Derivamos a proporcionalidade entre as massas inerciais e gravitacionais.
- Derivamos o fato de que o melhor sistema inercial de que dispomos é aquele das galáxias distantes, (...)
- Derivamos a energia cinética como mais uma energia de interação gravitacional entre o corpo de prova e o universo distante, quando há um movimento entre ambos.
- Derivamos o fato de que todas as forças fictícias da mecânica newtoniana são de fato forças reais como todas as outras forças usuais. Neste caso, são forças de origem gravitacional agindo entre o corpo de prova e o universo distante acelerado com relação a ele.
- Derivamos uma relação entre G , H_0 e C , a saber, $3H_0^2 = 2 a 4 \pi \xi G \rho_0$, com $\xi = 6$ como veremos depois. Já se sabia que esta relação era válida há muito tempo, sem se encontrar uma explicação convincente para ela.
- Obtivemos que as forças inerciais F_m têm o mesmo valor numérico em todos os sistemas de referência, embora não necessariamente a mesma forma.

Assim sendo, para Assis (1998) a Mecânica Relacional explica a experiência do balde de Newton sem utilizar os conceitos de espaço absoluto e referenciais inerciais, visto que a interpretação sobre a curvatura da superfície da água é explicada sem que ocorra prejuízo do movimento relativo do balde com relação às estrelas do Universo, chegando à conclusão de que é impossível distinguir movimentos absolutos em relação aos seus efeitos (vide apêndice).

2.1 MECÂNICA RELACIONAL E O EXPERIMENTO DO BALDE DE NEWTON

Assis (1998) ressalta que, infelizmente, poucos livros didáticos tratam desse assunto, ainda que seja uma das experiências mais simples e mais importantes entre todas aquelas realizadas por Isaac Newton. Essa está descrita antes da experiência dos dois globos, antes dos axiomas ou leis do movimento e no Escólio, após as oito definições no início do Livro I dos *Principia*, ou seja, com lugar de destaque nesta grandiosa obra, que enfatiza:

Os efeitos que distinguem movimento absoluto de relativo são as forças que agem no sentido de provocar um afastamento a partir do eixo do movimento circular. Pois não

há tais forças em um movimento circular puramente relativo; mas em um movimento circular verdadeiro ou absoluto elas são maiores ou menores, dependendo da quantidade do movimento. Se um recipiente, suspenso por uma longa corda, é tantas vezes girado, a ponto de a corda ficar fortemente torcida, e então enchido com água e suspenso em repouso junto com a água; a seguir, pela ação repentina de outra força, é girado para o lado contrário e, enquanto a corda desenrola-se, o recipiente continua no seu movimento por algum tempo; a superfície da água, de início, será plana, como antes de o recipiente começar a se mover; mas depois disso, o recipiente, por comunicar gradualmente o seu movimento a água, fará com que ela comece nitidamente a girar e a afastar-se pouco a pouco do meio e a subir pelos lados do recipiente, transformando-se em uma figura côncava (conforme eu mesmo experimentei), e quanto mais rápido se torna o movimento, mais a água vai subir, até que, finalmente, realizando suas rotações nos mesmos tempos que o recipiente, ela fica em repouso relativo nele. Essa subida da água mostra sua tendência a se afastar do eixo de seu movimento; e o movimento circular verdadeiro e absoluto da água, que aqui é diretamente contrário ao relativo, torna-se conhecido e pode ser medido por esta tendência. De início, quando o movimento relativo da água no recipiente era máximo, não havia nenhum esforço para afastar-se do eixo; a água não mostrava nenhuma tendência a circunferência, nem nenhuma subida na direção dos lados do recipiente, mas mantinha uma superfície plana, e, portanto, seu movimento circular verdadeiro ainda não havia começado. Mas, posteriormente, quando o movimento relativo da água havia diminuído, a subida em direção aos lados do recipiente mostrou o esforço dessa para se afastar do eixo; e esse esforço mostrou o movimento circular real da água aumentando continuamente, até ter adquirido sua maior quantidade, quando a água ficou em repouso relativo no recipiente. E, portanto, esse esforço não depende de qualquer translação da água com relação aos corpos do ambiente, nem pode o movimento circular verdadeiro ser definido por tal translação. Há somente um movimento circular real de qualquer corpo em rotação, correspondendo a um único poder de tendência de afastamento a partir de seu eixo de movimento, como efeito próprio e adequado; mas movimentos relativos, em um mesmo e único corpo, são inumeráveis, de acordo com as diferentes relações que ele mantém com corpos externos e, como outras relações, são completamente destituídas de qualquer efeito real, embora eles possam talvez compartilhar daquele único movimento verdadeiro (ASSIS, 1998, p. 45-46).

Para obter a equação da superfície da água, bem como a pressão em um ponto qualquer do líquido no interior do balde girante, Assis (1998) considera a água como um fluido incompressível homogêneo ideal com densidade ρ . No início, o balde e a água estão em repouso em relação a um referencial inercial (figura 1).

Assim, a Terra pode ser considerada um bom referencial para a referida experiência. Considera-se a superfície da água como plana e a pressão aumentando em função da sua profundidade h de acordo com $\rho(h) = \rho_0 + \rho gh$, em que $\rho_0 = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 1.10^5 \text{ N/m}^2$ é a pressão atmosférica com $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ aproximadamente como aceleração gravitacional da Terra.

O autor destaca que desta expressão se pode obter o princípio de Arquimedes (287-212 a. C.). O empuxo exercido pela água em qualquer corpo submerso de volume V é dada por ρgV , destacando que esta força não depende da massa do corpo, mas apenas do volume submerso e da densidade que o cinge.

Figura 1 – Balde e água em repouso em relação à Terra



Fonte: a autora.

Posteriormente, o autor considera o balde e a água girando juntos com uma velocidade angular constante em relação a um sistema inercial. Assim, a superfície da água fica côncava, conforme demonstra a figura 2.

Figura 2 - Balde e água girando juntos em relação à Terra



Fonte: a autora.

Para Assis (1998), a importância da experiência ocorre pelo fato de essa distinguir a rotação absoluta da relativa. Segundo a interpretação de Isaac Newton, a superfície da água fica côncava somente quando está girando em relação ao espaço absoluto e não aos “corpos do ambiente”, isto é, não têm relação com o balde, nem com a Terra e nem com o Universo distante como é o caso das estrelas fixas. Para Isaac Newton, o espaço absoluto não tem relação com qualquer coisa externa, conforme explica:

Mostramos aqui que Newton não tinha uma alternativa em sua época senão chegar a esta conclusão: Como a rotação angular do balde na experiência de Newton é muito maior do que a rotação diurna da Terra ou do que a rotação anual da Terra ao redor do Sol, podemos considerar a Terra como não estando acelerada em relação ao referencial das estrelas fixas e como um bom sistema inercial. Na primeira situação, o balde e a água estão em repouso em relação a Terra e, portanto, praticamente com velocidade constante em relação ao referencial das estrelas fixas. A superfície da água é plana e não há problemas em derivar esta conclusão. Agora consideramos a segunda situação na qual o balde e a água giram juntos em relação à Terra (o que é praticamente o mesmo que em relação às estrelas fixas) com uma velocidade angular constante $\vec{\omega}_{be}$ = $\vec{\omega}_{be} \equiv \vec{\omega} = \omega z$, onde o eixo z aponta verticalmente para cima naquele local ($z = r$, onde r aponta radialmente para fora a partir do centro da Terra, $\vec{\omega}_{be}$ e a velocidade do balde em relação à Terra e $\vec{\omega}_{be}$ e a rotação da água em relação à Terra). Neste caso a superfície côncava da água, subindo em direção às paredes do balde (ASSIS, 1998, p.51).

Mediante o exposto, há algumas questões que precisam ser respondidas e esclarecidas, tais como:

Por que a superfície da água é plana na primeira situação e côncava na segunda? Qual é o responsável por este comportamento diferente? Este comportamento é devido à rotação da água com relação a quê? (ASSIS, 1998, p.51).

Para responder às indagações, Assis (1998) faz uma análise sob a ótica newtoniana. Como já citado, há três suspeitos naturais para explicar a concavidade da água: sua rotação em relação ao balde, em relação à Terra e em relação às estrelas fixas. Nas três situações enfatizadas se percebe que o balde não é responsável pelo comportamento da superfície da água, pelo fato de não haver movimento relativo entre esses. Sendo assim, qualquer que seja a força exercida pelo balde sobre a molécula de água, na primeira e na segunda situações a água continuará a mesma, visto que permanecerá em repouso em relação à Terra.

Já o segundo suspeito, como diz Assis, é a rotação da água em relação à Terra. Na primeira situação, a água estava em repouso com relação à Terra e a superfície era plana, mas quando girava em relação à Terra, na segunda situação, a superfície ficava côncava. Com essa interpretação poderia chegar à rotação relativa entre a água e a Terra, sendo a responsável pela concavidade da superfície da água.

Isaac Newton argumenta que o motivo para concavidade é que esse esforço de se afastar do eixo do movimento circular não depende de qualquer translação da água com relação aos corpos do ambiente.

De acordo com Assis (1998), Newton foi coerente em sua conclusão ao utilizar sua própria lei da gravitação universal, em detrimento de que na primeira situação, a única força relevante exercida pela Terra sobre a molécula de água é de origem gravitacional.

Na segunda situação, a água está girando em relação à Terra, mas a força exercida pela Terra sobre cada molécula é o peso, apontada verticalmente para baixo. Cabe lembrar que a lei de Newton da gravitação independe da velocidade ou da aceleração entre os corpos interagentes, ou seja, na mecânica newtoniana a Terra não pode ser a responsável pela concavidade da superfície da água. Com isso, chega-se à interpretação de que a água, girando ou em repouso em relação à Terra, sentirá a mesma força gravitacional em função da força e peso apontados para baixo, sem nenhuma componente que dependa da velocidade ou da aceleração dessa.

Por fim, o terceiro suspeito como responsável pela concavidade da água é o conjunto das estrelas fixas. Ao analisar a primeira situação, a água está, basicamente, em repouso ou com velocidade constante em relação a essas e com superfície plana. Partindo para a segunda situação, a água está girando com relação a essas e sua superfície é côncava.

Assim, poderia ser esta rotação relativa entre a água e as estrelas fixas a responsável pela concavidade da água com a única interação relevante que é de a água com as estrelas fixas ser de origem gravitacional.

Posteriormente, Assis (1998) fez uma análise sobre a influência das estrelas na primeira situação, lembrando que na força gravitacional, conforme é citado por Newton no teorema trinta, a força resultante exercida por todas as estrelas fixas, em qualquer molécula de água, é sempre nula, fazendo uma análise da quantidade homogênea das estrelas e de suas distribuições.

É importante salientar que essa interpretação vai permanecer válida não apenas quando a água estiver em repouso com relação às estrelas fixas, mas também quando estiver girando em relação a essas e à interpretação da lei de gravitação de Newton não depender da velocidade ou da aceleração entre os corpos.

Sob a interpretação da Mecânica Clássica (teorema 30), Newton estava ciente de que se pode desprezar a influência gravitacional do conjunto das estrelas fixas na maioria das situações, concluindo que a rotação relativa entre a água e as estrelas fixas não é responsável pela concavidade da água.

Como Newton observou que o efeito das estrelas distantes é praticamente nulo na água do balde, nada adiantaria supor que as estrelas e as galáxias desaparecessem, hipoteticamente, ou aumentassem muito em quantidade, fato que não alteraria a concavidade da água na experiência do balde.

Isaac Newton não tinha outra escolha, a não ser afirmar que o responsável pela alteração na forma da superfície da água estaria relacionado às forças oriundas da rotação da água em relação ao espaço absoluto.

E sob a interpretação da Mecânica Relacional, Assis (1998) finaliza relatando que este espaço absoluto newtoniano não pode ter nenhuma relação com a massa ou quantidade de matéria da água, do balde, da Terra, das estrelas fixas, nem de qualquer outro corpo material, visto que todas foram eliminadas pela mecânica newtoniana e que a interpretação quantitativa desta experiência chave, sem introduzir o conceito de espaço absoluto, é uma das principais características da Mecânica Relacional (vide Apêndice).

2.2 FUNDAMENTAÇÃO EPISTEMOLÓGICA

Será que os profissionais da educação estão dispostos a se libertarem dos métodos tradicionais de interpretação dos eventos pela Mecânica Clássica? Muitas vezes, pensa-se que se estudam coisas demais e não se obtém aplicação prática do que é apresentado na escola. No entanto, sempre existe uma aplicação para cada conteúdo aprendido, para enxergar as maravilhas que podem ser propiciadas pelo ensino da física.

Segundo registros de estudos de Peduzzi (1997), a realidade do ensino de ciências ocorre, especialmente no que se relaciona com a área de física, muitas vezes, em um processo distante da possibilidade de os estudantes compreenderem os conceitos expostos, sendo esse aspecto contrário ao que se verifica proposto pelas legislações educacionais e diretrizes de ensino (BRASIL, 1998, p.32), das quais se verifica a proposta de que o ensino deve “propiciar o desenvolvimento de competências que lhe permitam compreender o mundo e atuar como cidadão em utilização de conhecimentos”.

Dessa forma, o considerado ensino tradicional propicia um contraste entre o que se espera como ideal e o real vivenciado pelos professores em sala de aula, ou seja, um ensino que não alcança o propósito de aprendizagem aplicada na vida diária dos estudantes.

Perante tal circunstância, identifica-se na exposição de Schnetzler (1992) que uma das razões se verifica na adoção de uma concepção de ensino voltada para a transmissão de

conteúdos como corpo de conhecimentos prontos, verdadeiros, inquestionáveis e imutáveis, que são expostos, em sala de aula, para que o estudante apenas os absorva sem questionar.

Essa atuação pedagógica tem base no considerado método tradicional de ensino que, segundo explica Peduzzi (1997), não propicia ao estudante a construção de um conhecimento, pois em séries seguintes, em abordagem de um novo assunto, os estudantes não lembram mais o que haviam estudado anteriormente.

Dessa forma, relevante entender como a ciência tem sido abordada ao longo dos tempos, uma vez que se espera que o ensino de física propicie ao estudante a compreensão do mundo em que se insere, não apenas como espectador, mas como agente transformador e, para isso, o conhecimento científico abordado, em sala de aula, precisa construir significados que possam ser compreendidos como integrantes do cotidiano, o que implica que os professores precisam estar dispostos a abandonarem esses métodos tradicionais de ensino.

O filósofo grego Aristóteles (384-322 a.C) se dedicava ao estudo da natureza. Como toda a área do conhecimento, essa sofreu muitas modificações e adaptações até chegar a essa base de teoria que se tem hoje na ciência moderna.

Para falar, especificamente, dessas modificações, cabe destacar um exemplo clássico a respeito de força e de movimento. Aristóteles pensava que para ter movimento deveria existir a aplicação de força, ou seja, essa força acompanhava o movimento e que uma vez cessando a força cessaria o movimento, seja ele uniforme ou não. Trata-se da interpretação que a força seria intrínseca aos corpos.

Com o passar do tempo, esse pensamento foi sendo modificado, principalmente pelo fato de novas ideias introduzidas por ilustres cientistas como Galileu Galilei. Atualmente, se sabe que o movimento pode ocorrer, ainda que a força resultante aplicada sobre o corpo seja nula.

Quando a Mecânica Clássica é apresentada aos alunos com seus conceitos relacionados a movimento, força e referencial, como se fosse uma teoria finalizada.

Mediante a referida premissa, há necessidade de pesquisas que utilizem esse argumento para justificar que outros estudos, entre esses a Mecânica Relacional, devem ser apresentados na Educação Básica.

Segundo Feyeraband (2003), a uniformidade também ameaça o livre desenvolvimento do indivíduo.

A condição de consistência, que exige que hipóteses novas sejam de acordo com teorias aceitas, é desarrazoada, pois preserva a teoria mais antiga e não a melhor. Hipóteses contradizendo teorias bem confirmadas proporcionam-nos evidência que não pode ser obtida de nenhuma outra maneira. A proliferação de teorias é benéfica

para a ciência, ao passo que a uniformidade prejudica seu poder crítico (FEYERABAND, 2003, p. 03).

Dessa maneira, cabe ressaltar que esta consistência pode servir como um alerta aos professores e pesquisadores do ensino de física, promovendo um olhar mais cuidadoso para o tópico da Mecânica Clássica, aprofundando nos fenômenos que a caracterizam e na matemática como uma síntese desses fenômenos, com objetivo de propiciar motivação e interesse aos alunos, tratada, principalmente, de forma adequada, tomando sempre os cuidados necessários.

De acordo com Borges e Amantes (2003), para que os alunos possam interagir com alguns conceitos básicos sobre a mecânica, os professores utilizam a resolução de problemas com aplicação desses conceitos que, muitas vezes, acabam impossibilitando a compreensão. Nesse sentido:

os estudantes, em geral, não conseguem explicitar o conceito de sistema de referência ou referencial com clareza; valem-se de concepções errada ou descrevem de forma a deixar poucas evidências de como é realmente seu entendimento. Mas eles têm mais sucesso em expressar o que entendem por movimento relativo (BORGES; AMANTES, 2003, p. 09).

Mediante o exposto, é necessário e essencial para a compreensão da estruturação das ideias básicas para formalização da mecânica, como eles aduziram em outro trabalho:

a necessidade de outras estratégias para aprendizagem de conceitos mais teóricos, no sentido de possibilitar ao estudante um entendimento que não se restringe à habilidade em lidar com situações problemáticas, mas que o torne capaz de extrapolar o significado procedural desses conceitos; é preciso que a aprendizagem não se limite a elementos diretamente perceptíveis, mas que tenha uma abrangência suficiente para possibilitar aos estudantes entender conceitos mais elusivos de maneira abstrata e mais próxima da concepção científica (BORGES; AMANTES, 2005, p. 11).

Sendo assim, para que os alunos compreendam os conceitos, seria importante utilizar a aplicação de experimentos históricos como, por exemplo, o experimento do balde de Newton, na interpretação da mecânica newtoniana e relacional, principalmente, pelo fato de que essa pode levar à experiência do pensamento, buscando uma compreensão empírica direcionada ao conhecimento científico.

Para elucidar a proposta sobre o experimento histórico supracitado, esse será apresentado, uma vez que teve destaque importante frente aos conceitos de referencial e movimento relativo e absoluto, propiciado por Isaac Newton, em sua maior obra, o Principia.

A experiência do balde de Newton, apesar de ser muito simples, é difícil de ser explicada, principalmente, em relação aos conceitos envolvidos nesse evento e pela relevância direcionada à compreensão da Mecânica Clássica, impossibilitando aos alunos a oportunidade

de fazerem uma análise sobre essa teoria, bem como questioná-la com objetivo de compreender suas limitações.

Para explicar os fenômenos envolvidos no experimento do balde de Newton se pode buscar duas interpretações, uma baseada na mecânica newtoniana e a outra na Mecânica Relacional.

De acordo com Assis (1998), a Mecânica Clássica consegue interpretar os fenômenos por intermédio dos conceitos de espaço absoluto, mas, por outro lado, Assis vai além de Mach e defende a ideia de que é possível explicar tais fenômenos sem a utilização desse conceito, introduzindo, em sua interpretação, o referencial dos corpos astronômicos.

Para Assis (1998), a Mecânica Relacional implementa as ideias de Leibniz, Berkeley e Mach, como uma nova mecânica. Na Mecânica Relacional não se aplicam grandezas absolutas como espaço e tempo utilizados na Mecânica Clássica e essa é uma observação relevante, principalmente, porque no ensino atual da mecânica as sutilezas acabam passando despercebidas.

Com a Mecânica Relacional, a interpretação do fenômeno físico envolvido no experimento assume um caráter diferente e possibilita ver o mundo por uma perspectiva diferente, com os mesmos olhos, mas sob outra ótica, levando o aluno a pensar de forma diferente, justamente para ele entender que existem limitações e que a ciência não está pronta e acabada.

Sendo assim, neste trabalho, foi analisado o quanto os professores do Ensino Básico estão dispostos a utilizar a experiência do balde sob a interpretação das duas mecânicas em suas aulas de física, priorizando contemplar, especialmente, os alunos da Educação Básica.

Para que haja uma interpretação sob a configuração do fenômeno contemplado no experimento do balde, é importante destacar que o compartilhamento da observação não ocorre automaticamente, ou seja, é necessário instigar e fazer com que os alunos percebam a problemática e o fenômeno físico envolvido e que, a partir desta percepção possam construir seus posicionamentos.

Feyerabend (2003, p. 89) ressalta que tem “certeza de que estamos privando-nos de descobertas novas e surpreendentes, enquanto permanecermos nos limites por ele definidos. Todavia, permanecerei, por enquanto, no interior desses limites”. Para que se possa potencializar a interpretação do experimento do balde, sob as óticas da Mecânica Relacional e da Mecânica Newtoniana, são oportunas e necessárias as interpretações naturais destacando a aparência mais enunciada, em que Feyerabend (2003) expressa, significativamente, que “não há dois atos – um, notar o fenômeno e outro será expressá-lo com auxílio do enunciado

apropriado -, mas apenas um, a saber, dizer em certa situação observacional, a lua está me seguindo ou a pedra está caindo verticalmente”. Assim, se percebe que o fenômeno somente é obtido a partir do que foi enunciado, não permitindo certa distinção entre o que é enunciado e o que é observado.

Para Feyerabend (2003), Galileu é um daqueles raros pensadores que não desejam nem conservar para sempre as interpretações naturais nem as eliminar completamente. Segundo Feyerabend:

Juízos indiscriminados dessa espécie são totalmente alheios a seu modo de pensar. Ele insiste em uma discussão crítica para decidir quais interpretações naturais são mantidas e quais devem ser substituídas. Isso nem sempre fica claro em seus escritos. Muito ao contrário. Os métodos de reminiscência, a que ele recorre tão livremente, são destinados a criar impressão de que nada mudou e continuamos expressando nossas observações de maneiras velhas e familiares (FEYERABEND, 2003, p. 89-90).

Contudo, é necessário saber que as interpretações naturais são necessárias, e Feyerabend (2003) ressalta que para chegar a tida como verdadeira são necessários “os ...sentidos, acompanhados pelo raciocinar” (GALILEU, 1953, p. 255), para que se possa confirmar a realidade ou revelar a falácia, buscando a validade da interpretação do fenômeno em destaque no experimento do balde de Newton.

Como a proposta deste trabalho é direcionada aos professores e graduandos com objetivo de que esses se interessem pelas reflexões proporcionadas pela experiência do balde de Newton e que essa faça parte do seu planejamento, é imprescindível que o que envolve esse conceito seja determinado pela maneira de esse se relacionar à percepção. Feyerabend (2003, p. 93) faz a seguinte indagação, destacando a circularidade:

Contudo, como descobrir essa maneira, sem circularidade? As percepções têm de ser identificadas, e o mecanismo de identificação conterá alguns dos próprios elementos que governam o uso do conceito a ser investigado. Jamais aprendemos completamente esse conceito, pois sempre utilizamos parte dele na tentativa de descobrir seus constituintes (FEYERABEND, 2003, p. 93).

Sendo assim, Feyerabend (2003) ressalta que há apenas um modo para se escapar desse círculo e complementa dizendo que esse consiste em utilizar uma medida externa de comparação, além de novos modos de relacionar conceitos e perceptos. Afastando-se do domínio do discurso natural sobre o experimento do balde e de todos os seus princípios, hábitos e atitudes que constituem sua interpretação, tal interpretação externa, como pela Mecânica Relacional, seria independente.

O exemplo do experimento do balde de Newton pretende mostrar que a concepção Newtoniana não está de acordo com os fatos, ou seja, a ideia de que seu movimento é absoluto

é limitada para alguns. Não dá para mencionar algumas das expressões que foram, frequentemente, usadas na época e quais ainda são ouvidas sempre que profissionais retrógrados se defrontam com uma teoria nova e contrária aos fatos, levando a suspeitar de que a concepção newtoniana seja um padrão para interpretação para o experimento do balde.

A propósito se utilizará um dispositivo que Feyerabend (2003) chama de detector e que auxilia a descobrir as interpretações naturais para excluir o movimento absoluto de Newton. Ao se utilizar um argumento contrário ao espaço e tempo absolutos de Isaac Newton, algumas mudanças podem eliminar a contradição de que não está acabada nem mesmo na atualidade.

Feyerabend (2003, p. 94) ressalta que:

Pode ser que essa contradição permaneça conosco por décadas, até séculos, e que ainda assim ela deve ser preservada até que tenhamos concluído nossa investigação; caso contrário, tal investigação e a tentativa de descobrir os componentes antediluvianos de nosso conhecimento não poderia se quer começar (FEYERABEND, 2003, p. 94).

Com isso, uma das razões epistemológicas para buscar a interpretação do experimento do balde de Newton, especificamente sobre os conceitos de espaço e de tempo absolutos, se ancora por meio de descobertas contraindutivas, como Feyerabend (2003) reforça: uma das razões que se pode oferecer para conservar, criar ou refutar uma teoria que seja inconsistente com os fatos, são os ingredientes ideológicos do conhecimento e, especialmente, de observações com o auxílio de teorias por essas refutadas. Não se trata de um argumento absoluto, uma vez que uma teoria pode sofrer adaptações em sua evolução, tornando-se coerente, seja com as novas teorias, seja com os fatos.

Para finalizar esta parte essencial do processo por descoberta pela interpretação do experimento do balde de Newton por intermédio da contraindução, Feyerabend (2003, p. 94) enfatiza:

Permitam-me repetir o que foi firmado até agora. As teorias são testadas e possivelmente refutadas por fatos. Fatos contêm componentes ideológicos, concepções mais antigas que foram perdidas de vista ou que talvez jamais tenham sido formuladas de maneira explícita. Tais componentes são altamente suspeitos. Primeiro por causa de sua idade e de sua origem obscura: não sabemos por que nem como foram introduzidos; segundo, porque sua própria natureza os protege, e sempre os protegeu de um exame crítico. No caso de uma contradição de uma teoria nova e interessante e uma coleção de fatos firmemente estabelecidos, o melhor procedimento, portanto, não é abandonar a teoria, mas usá-la para descobrir os princípios ocultos responsáveis pela contradição (FEYERABEND, 2003, p. 94).

Mediante a reflexão proposta por Paul Feyerabend (2003), cabe destacar que o caminho recomendado pela base epistemológica levou a resultados interessantes e contribuições significativas de professores e de graduandos que participaram do processo.

Embora o fenômeno seja o mesmo, tanto para alunos como para professores, a perspectiva individual para enunciar o que se observa é diferente e, portanto, a interpretação do fenômeno visto por cada um também será. Contudo, é importante destacar que um dia alunos e professores possam compartilhar o mesmo significado, que se convencionou por intermédio do experimento do balde de Newton.

Sendo assim, a dedicação de compartilhar a problemática frente à interpretação do experimento do balde, proposto por Isaac Newton, consiste em uma análise crítica acerca das interpretações naturais de professores e graduandos com propósito de mantê-las mais adequadas respeitando o ponto de vista de cada um, para que no final eles possam elencar suas interpretações sobre o fenômeno que ocorre na experiência do balde de Newton.

Dessa forma, se deixa registrado que o trabalho seguiu os preceitos e trilhou conforme as ideias de Paul Feyerabend (2003, p. 95):

Se uma interpretação natural causa dificuldades para uma concepção atraente, e se sua eliminação remove a concepção do domínio da observação, então o único procedimento aceitável é utilizar outras interpretações e ver o que acontece (FEYERABEND, 2003, p.95).

2.3 O ENSINO INVESTIGATIVO EM CIÊNCIAS

Tendo como foco uma perspectiva histórica, relevante expor que as ciências, envolvendo biologia, física e química, nem sempre foram objeto de ensino nas escolas, sendo esse conquistado por essas ciências no ensino formal, de acordo com explicação de Rosa (2005), uma consequência decorrente de avanços propiciados por mudanças em mentalidades e práticas sociais.

Conforme explica Canavarro (1999, apud ROSA, 2005, p. 89), o ensino de ciências passou a ser realizado em ambiente escolar a partir do século XIX, com um enfoque de ciências amparado na resolução de problemas práticos, uma vez que também havia a defesa da perspectiva de que o ensino de ciências deveria se pautar em definições, deduções, equações e em experimentos, pois esse enfoque permitiria o recrutamento de futuros cientistas.

As áreas do ensino de ciências e suas tecnologias passaram a ser fundamentais para a sociedade, bem como, especificamente, o ensino da física, da química e da biologia, sendo essa última inserida, posteriormente, uma vez que as Ciências Naturais eram vistas como um campo específico de pesquisa ao longo das décadas de 1960 e 1970, ocorrendo um rápido

desenvolvimento sobre a Educação em Ciências, visto que o ensino de ciências foi crescendo em importância como objeto de movimentos de transformação do ensino, segundo registra Krasilchik (2000).

As sociedades científicas e universidades passaram a produzir projetos em que as ciências tinham como objetivo desenvolver a racionalidade, a capacidade de fazer observações controladas, características presentes no denominado método científico que, de acordo com registros de Santos e Greca (2006), expressavam uma visão globalizada de cada campo do ensino de ciências, com validação pela comunidade científica, sendo um período marcante para as tendências curriculares de várias disciplinas do Ensino Fundamental e Médio.

Dessa forma, as modificações no contexto político, econômico e social propiciaram transformações em políticas educacionais e em mudanças no ensino de ciências, podendo registrar que a Lei nº 4024, de 1961, ampliou a participação de ciências no currículo escolar, com aumento de carga horária de física, química e biologia.

Gadotti (1991) explica que com a Lei nº 5692 de 1971 se define uma formação técnica com Centros de Ciências e Tecnologia, com expansão de programas direcionados para o ensino de ciências para que melhorassem os processos de ensino e de aprendizagem nessa área.

Dentro desse contexto, houve um especial destaque ao ensino de ciências que contou com a produção de material intitulado Projeto Iniciação à Ciência, produzido pelo Instituto Brasileiro de Educação Ciência e Cultura (Ibccc), no qual se fazia a inserção de atividades práticas para realização de experiências que visavam proporcionar vivências do método científico, de acordo com exposição de Marandino, Selles e Ferreira (2009).

Nessa mesma linha, Santos e Greca (2006) explicam que a partir da década de 1970, o ensino de ciências passou por uma fase contraditória em que havia valorização de disciplinas científicas no aspecto legal, mas com um viés tecnicista impregnado de caráter profissionalizante.

Simultaneamente às alterações sociais e políticas, o país vivencia uma expansão do ensino público, cujo foco estava em fornecer ao cidadão elementos para viver melhor e o ensino de ciências se direciona para conteúdos científicos relevantes para a sua vida, envolvendo temáticas com tratamento interdisciplinar.

Dentro desse enfoque, o ensino de ciências, conforme expõe Gil Pérez (2001), passa a ser em boa parte descontextualizado, sendo ignoradas as complexas relações que se estabelece entre ciência, tecnologia e sociedade e o ensino de física e química que se faz na escola pouco ou nada se relaciona com a sociedade.

Nesse sentido, o ensino de ciência, envolvendo a física e a química, ocorre como ensino desvinculado do mundo real, passando a ser vistas como disciplinas cujos conteúdos descaracterizariam o real objetivo do ensino de ciências, conforme expressam Monteiro e Teixeira (2004).

No entanto, a preocupação com a qualidade do ensino levou a uma alteração de enfoque, que a partir do século XXI tem a perspectiva de ensino de ciências direcionado a demonstrar a relação entre ciência e sociedade. Essa visão de ensino de ciências propiciou a intensificação de estudos para o denominado letramento científico, que vem fortalecido pelo movimento denominado de ciência para todos, interligando as tecnologias mais eficientes com benefícios e riscos no globalizado mundo atual.

Nesse sentido, por meio de estudos de Krasilchik (2000 e 2004), em que faz uma abordagem de ensino de ciências no Brasil, se verifica a relação entre esse ensino e cidadania, alterando a visão de como a ciência era ensinada, especialmente na realidade de sala de aula.

De acordo com explicação de Borges e Lima (2007), o Brasil vivenciou um processo de debate do ensino, em que diversas correntes educativas foram sendo apresentadas, e todas refletindo os anseios nacionais de redemocratização que repercutiu no ensino de ciência com uma grande quantidade de projetos e grande variabilidade de concepções sobre esse ensino, culminando, em 1998, com a concepção de documento intitulado Parâmetros Curriculares Nacionais como proposta de reorganização curricular adaptada com o ideário verificado na nova Lei de Diretrizes e Bases da Educação, Lei nº 9396 de 1996.

Ao lado dessa legislação foram criados, em 1998, as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN), com objetivo de determinar o regimento educacional e firmar os conteúdos considerados mínimos para a formação básica comum. Dessa forma, os Parâmetros, mesmo sendo instrumentos normativos, passaram a orientar as Diretrizes cujo enfoque é mais geral em relação à educação.

Dessa forma, é perceptível que as tendências educacionais têm passado por modificações, ao longo do tempo, e o Brasil tem vivenciado a inserção de uma abordagem de ensino investigativa nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), em que se verifica a proposição de que a escola e o professor devem promover um ensino pautado pelo questionamento, pelo debate e pela investigação, uma vez que a ciência deve ser vista como uma construção histórica, bem como um saber prático que possa ser compreendido pelo estudante.

O ensino de ciências deve envolver o desenvolvimento de competências e de habilidades, de forma que a construção de saberes perpasse a investigação, tendo como

fundamento o fato de que a educação científica, a partir do século XXI, se direcionou a uma ênfase de responsabilidade social e ambiental, que envolve todos os cidadãos, ou seja, a coletividade.

Com base nessa perspectiva, em 2019, em substituição aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) houve a promulgação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), sendo esse um documento que expressa o conjunto orgânico e normativo de aprendizagens consideradas essenciais aos alunos, ao longo das etapas da Educação Básica em concordância com o Plano Nacional de Educação.

Nesse sentido, seguindo o que preconiza a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) e, também, as Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica (DCN) se tem o enfoque de direcionamento em uma formação humana integral em busca de construir uma sociedade justa, democrática e inclusiva, orientada por princípios éticos, de forma que os estudantes devam compreender a construção de ciências, por meio de leitura articulada de mundo, sendo capazes de propor soluções para questões que implicam em conhecimentos científicos.

Segundo exposição de Sasseron (2018), a construção das ciências deve seguir um processo investigativo apresentado por propostas, que é exposto no documento do Ministério da Educação (MEC, 2017) como sendo elemento central na formação dos estudantes, em se aplicando situações didáticas planejadas para que os estudantes, durante a Educação Básica, sejam capazes de construir conhecimentos de forma crítica e reflexiva na possibilidade da formação de pessoas autônomas para compreender o mundo em que se inserem.

Nesse sentido, importante entender como ocorrem essas interações na perspectiva de um ensino direcionado pela perspectiva investigativa.

2.3.1 As interações no ensino investigativo de ciências

O trabalho investigativo na área de ciências, especialmente relacionado com conteúdos de física implica a atuação do professor em propiciar interações discursivas para que as informações sejam exploradas ou colocadas em evidência, conforme preconiza Sasseron (2013). A autora explica que o professor, como mediador desse processo investigativo, é responsável por estabelecer uma parceria com os estudantes para que se faça a construção do que seja ciência e os conceitos, modelos e teorias que a compõem, sendo essa uma forma de fazer com que percebam os fenômenos e a maneira como esses se conectam em estudo.

Nessa perspectiva de abordagem de ensino de ciências em uma perspectiva investigativa, o ponto de contato do estudante com saberes provenientes de estudos na área decorre da atuação e interação do professor para que se alcance a construção de conhecimento com uma visão histórica e cultural. Sasseron (2015) explica que tal processo implica que o professor valorize as pequenas ações e demonstre a relevância dessas para que o estudante possa expor suas percepções, criando em sala de aula uma possibilidade de argumentação.

Seguindo esse mesmo enfoque, Carvalho (2018) explica que o ensino por investigação surge como proposta didática com finalidade de desenvolver conteúdos ou temas científicos, mas esses apenas se concretizam na interação que se propicia entre professor e estudantes ao lado de materiais e informações.

O ensino de investigação pressupõe, portanto, que exista uma relação que faça com que os conceitos de ciências sejam desenvolvidos por situações ou problemas apresentados, com oportunidade para que haja discussão e construção de uma autonomia intelectual.

Assim, o material desenvolvido nesta proposta de pesquisa leva em consideração essas orientações ao propor atividades práticas intercaladas com teorias tratando de ciências, em enfoque da física relacional, visto que a promoção de situações investigativas implica em exposição de problemas, análise e representação, comunicação e intervenção como apoio para um ensino complementar, assegurando a aprendizagem, tendo em vista tal aprendizagem se materializa no momento em que está adequada às proposições da realidade, bem como o contexto e características dos alunos.

Esse enfoque implica que o professor, para compartilhar conteúdos com os alunos, deve fazê-lo contextualizando-os e aplicando estratégias que propiciem apresentá-los, representá-los e exemplificá-los, de forma que esses conhecimentos possam ser construídos em um processo de desenvolvimento que permita diálogo com outras áreas de conhecimento, oportunizando ao estudante a formação de conceitos e de habilidades com formação em direção ao protagonismo.

Seguindo esse enfoque, o ensino investigativo propicia ao estudante a apropriação de práticas típicas do fazer científico e, para isso, as atividades, tanto em sala de aula como de suporte, devem colaborar para o desenvolvimento da capacidade de reflexão, o que permite entender que o desenvolvimento de um material, tal como a revista de atividades denominada "Pelos caminhos da Mecânica Relacional: atividades para sala de aula", seja interessante para esse processo de investigação, proporcionando condições de associar o lúdico com a pesquisa em compreensão de conteúdos da física.

Dessa forma, o próximo tópico enfocará, de forma geral, a relação entre o lúdico e o ensino, especialmente para a área da física, visto ser a ludicidade uma das estratégias como

estímulo na construção de conhecimento e progressão de habilidades, sendo também uma ferramenta para que sejam alcançados os objetivos de compreensão de certos fenômenos.

2.3.2 A ludicidade e o ensino de ciências

A necessidade de descrever a incorporação do lúdico na prática docente, representado neste estudo na elaboração de um produto educacional denominado “Pelos caminhos da Mecânica Relacional: atividades para sala de aula”, decorre de uma percepção de que é grande a responsabilidade do professor para que ocorra a aprendizagem.

A exposição e a integração de conteúdos propostos com a percepção e uso de estratégias lúdicas, envolvendo atividades para sala de aula, se fundamenta na visão de que todos têm direito de aprender, mas aprender com satisfação alcança um resultado mais eficaz, o que pressupõe que se conceitue essa atividade como estratégia de ensino.

A atividade lúdica para sala de aula propicia uma articulação entre fins e meios, visto que o jogo não é somente um meio de exploração, mas de invenção conforme se depreende da explicação de Bruner (1998).

Assim, a função educativa de um jogo ou atividade se vincula com a aprendizagem de um indivíduo ao estabelecer relações com o seu saber e conhecimento, bem como a compreensão do mundo que constrói por meio da estratégia lúdica utilizada. Friedman (1996) expõe que os jogos lúdicos permitem uma situação educativa cooperativa e interacional, que propiciam a estimulam a convivência em grupo.

Nesse sentido, o uso de atividades com função lúdica permite a flexibilidade de novas ações com a ausência de pressão no ambiente, por proporcionar uma aprendizagem de noções e de habilidades, o que implica entender que atividades lúdicas favorecem o ensino de conteúdos escolares por servirem de recursos para motivação da aprendizagem.

Certos jogos oferecem condições para que os estudantes vivenciem problemas e situações que os façam pensar, gerando experiências com a lógica e o raciocínio, e da mesma forma favorecem a sociabilidade ao estimular reações afetivas, cognitivas e sociais.

Goleman (1999), ao desenvolver o conceito de inteligência emocional, expressa que o educador/professor em sua prática de ensino deve oferecer formas didáticas diferenciadas, e as atividades lúdicas apresentam uma predisposição de aceitação, o que faz com que se torne interessante a programação de atividades lúdicas no ensino de ciências.

Santos (1999, p. 12) ensina que “brincar é viver”, sendo essa afirmativa aplicada para ilustrar a função da criança, e por ser uma ação que é mantida pelos indivíduos em formação, possibilita a busca de meios e exerce um papel na construção do saber.

Diante disso, esse trabalho adotou uma característica lúdica aplicada diretamente aos estudantes nas escolas e em atividades de formação docente.

3 PERCURSO METODOLÓGICO

3.1 O PROJETO E O USO DA MALETA

Foto 1 - Print de tela da II Live do PPGECN



Fonte: da autora⁵.

O evento realizado pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência Naturais com o tema “Brincando com Física” foi desenvolvido a partir de um produto educacional denominado Maleta Dinâmica, sendo um projeto iniciado no segundo semestre ano de 2019.

Durante esse período foi proposta a confecção de um material direcionado ao estudo da dinâmica com objetivo de introduzir o estudo da mecânica. A Maleta Dinâmica foi disponibilizada para os alunos dos Ensinos Fundamental I, Fundamental II e Médio do Estado

⁵ Foto retirada do site: <https://youtu.be/EOsWLEZeQjM?t=42> Acesso em: 24 de abr. de 2021 às 13h55min. A foto em imagem de Newton foi retirada de https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.oficinadanet.com.br%2Fimagens%2Fpost%2F15839%2Fcapa.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.oficinadanet.com.br%2Fpost%2F15839-isaac-newton-o-maior-genio-de-todos-os-tempos&tbid=SngyPznd_rS-LM&vet=12ahUKEwjoh7_OjeLzAhVRG7kGHYapCpoQMygEegUIARC0AQ..i&docid=iepLjWm2gaQrdM&w=750&h=468&q=newton&ved=2ahUKEwjoh7_OjeLzAhVRG7kGHYapCpoQMygEegUIARC0AQ

de Mato Grosso. Essa Maleta Dinâmica seria constituída de materiais alternativos e de baixo custo com projeção na aprendizagem por descoberta.

A Maleta, portanto, foi uma proposta para o desenvolvimento dos conceitos da dinâmica na concepção da Mecânica Clássica de Newton, contendo objetos que permitissem o ensino e a aprendizagem. Na foto a seguir são expostos alguns dos materiais utilizados.

Foto 2 – Objetos que compõem a Maleta Dinâmica e imagem dos membros do projeto durante a realização da videoconferência.



Fonte: da autora⁶.

Com o intuito de atender à proposta, além de decidir o conteúdo da maleta, também houve o planejamento de como o projeto seria aplicado nas escolas, assim como de quais cidades receberiam o grupo de pesquisadores. Foram escolhidas escolas nos municípios de Jaciara e Campo Verde e o critério foi a residência dos pesquisadores. A foto 3 representa o convite para os participantes.

⁶ Foto feita do site: <https://youtu.be/EOsWLEZeQjM?t=6317> Acesso em: 28 de abr. de 2021 às 16h16min.

Foto 3 - Física na Maleta



Fonte: da autora.

Uma parte deste projeto pode ser conferida em uma entrevista à TV Universitária⁷. Após as oficinas, foi realizada uma apresentação virtual⁸ no dia 02 de julho de 2020, disponibilizada para os professores, mestrandos e graduandos da UFMT, embora tenha sido aberta ao público em geral. Na apresentação ao vivo houve a participação de 34 pessoas e o vídeo disponibilizado teve até o dia 22 de outubro de 2021, às 22h, 470 visualizações.

Como o objetivo do evento foi apresentar os resultados de aplicação do Projeto e uso da Maleta Dinâmica, iniciou-se com a participação do Professor Dr. Frederico Ayres de Oliveira Neto na apresentação, na intermediação e no apoio técnico da transmissão, com o apoio do Coordenador da Pós-Graduação, o Professor Dr. Miguel Jorge Neto, auxiliando com a transmissão e atendimento aos participantes, por meio de conversas em aplicativo – denominadas ou conhecidas como “chat” e com os mestrandos Andreia Gomes Furtado Aguilera, João Ferreira Fonseca e Luciana Vital Dantas Sousa, que podem ser visualizados na foto 4.

⁷ Registro do link para acesso a entrevista <https://youtu.be/aRdLbglCUI>

⁸ Registro de acesso: <https://www.youtube.com/watch?v=EOsWLEZeQjM&t=8403s>

Foto 4 - Equipe de apoio e mestrandos



Fonte: da autora⁹.

Depois das boas-vindas, bem como a devolutiva com a satisfação da participação de todos e com os testes de som e áudio sanados, deu-se início à apresentação. O grupo apresentou como foi a execução deste projeto, estudando Newton, sua contribuição com a ciência e suas aplicações alicerçadas por intermédio do seu método científico.

Assim, esses fundamentos de física básica foram pensados sob um aspecto científico proveniente de Newton durante as conversas do tema, com o cuidado de como seria trabalhada a iniciação científica com os alunos das escolas de Jaciara e Campo Verde-MT. No primeiro momento, o Projeto da Maleta foi apresentado em Jaciara com o Ensino Fundamental I na Escola Estadual São Francisco de Assis e, no segundo momento, em Campo Verde, na Escola Estadual Ulisses Guimarães com o Ensino Fundamental II e Médio.

É importante ressaltar que o Projeto de tema em Ensino de Física, com uso de uma Maleta foi pensado epistemologicamente pela Aprendizagem Significativa de David Ausubel (1992), pela Aprendizagem por descoberta de Jerome Bruner (1973a), com os experimentos

⁹ Foto feita do site: <https://youtu.be/EOsWLEZeQjM?t=799> Acesso em: 24 de abr. de 2021 às 14h03min

científicos embasados por Vaz e Soares (2007), finalizando com a ludicidade de Lev Vygotsky (2003). Com as referidas epistemologias em destaque, a equipe trabalhou com o saber, com o conhecimento, mostrando como o método científico funciona.

Relevante ressaltar que a escolha do nome Maleta Dinâmica que, inicialmente, havia sido denominada de Maleta Cinemática, ocorreu por conta do direcionamento do termo cinemático, enquanto o dinâmico poderia utilizar em qualquer tipo de assunto, disciplina e, especialmente, pelo fato de expor Isaac Newton neste estudo.

Mediante todos os diálogos durante o desenvolvimento do projeto, surgiu também a indagação acerca da sociedade, ao se entregar aos conhecimentos científicos para entender aspectos do Universo.

Contudo, fez-se oportuno o ensino no qual os alunos se encontram condicionados, ou seja, professor passa o conteúdo e depois cobra em uma avaliação, pelo fato de que se deve buscar compreender cientificamente a natureza e passar a superar os desafios, por meio de compreensão pessoal, e não pelo que os outros falam. Assim, o principal motivo de trazer este tema foi em detrimento de se desfazer deste condicionamento, propondo que os alunos saiam do trivial tendo autonomia para trilhar o próprio caminho.

Na sequência, o Projeto foi apresentado por intermédio de uma audiodescrição, tanto sua estrutura externa quanto interna, sendo acompanhada com um roteiro para demonstração, um questionário introdutório e final, uma ficha de avaliação, em que se tem uma corda para a dinâmica do cabo de guerra e outros elementos fornecidos pela escola.

Foram apresentados, por intermédio de fotografias, os momentos de preparação e de organização dos elementos, que fariam parte do Projeto denominado de Maleta Dinâmica, com a apresentação das escolas de Campo Verde e de Jaciara.

Com a autorização dos pais, da direção e da coordenação, no dia 12 de julho de 2019, o Projeto Maleta Dinâmica foi para a Escola São Francisco de Jaciara. Após a apresentação da equipe aos alunos e os informes de como tudo aconteceria, todos foram encaminhados para a sala do laboratório de informática da escola.

Inicialmente, foi disponibilizado um vídeo que falava sobre a história de Isaac Newton, que está disponível via YouTube¹⁰ e, depois de assistir o vídeo, foi propiciado um diálogo sobre as principais ideias por intermédio da chuva de ideias e o mapa mental com posterior aplicação de um questionário introdutório.

¹⁰ História de Isaac Newton disponível via YouTube, intitulado: Era uma vez os inventores que pode ser visualizado pelo acesso ao link: <https://youtu.be/Jp-y5MNdcdc>

Para instigar os princípios de Newton, foi realizada a dinâmica do cabo de guerra, na qual os alunos foram divididos em equipes de meninos e meninas, em quatro momentos, cada um deles reservado para a equipe composta por quatro alunos para disputarem o grande final. No entanto, é importante salientar que previamente havia sido solicitado a todos que viessem com roupas leves e específicas para uma atividade física com tênis e meia. No terceiro momento, havia uma equipe de meninos e outra de meninas ganhadoras e para instigá-los foi solicitado que os meninos ficassem somente de meia e as meninas sem meia, justamente para levá-los a pensar que não se ganha tudo somente com a força e que nem sempre a figura masculina é a ganhadora da disputa do cabo guerra, sendo o grande destaque o fazer ciência, identificar o que é força, o terceiro princípio de Newton e suas aplicações.

Chegado o momento da entrega das maletas, as crianças foram direcionadas para o anfiteatro da escola. Seis Maletas ficaram dispostas no chão, que seria visitada por seis grupos compostos por quatro crianças, ali eles conheceriam os elementos com a projeção da ciência por descoberta com materiais alternativos de baixo custo.

Foi proposto aos alunos que após a interação deles com a maleta, eles teriam o tempo de trinta minutos para apresentar a equipe uma demonstração com a explicação deles com o objetivo de construir seu próprio conhecimento, com métodos ativos, sendo autônomos, donos do saber. E foi neste momento que muitos relataram sobre o tempo, a velocidade, o atrito, alguns fizeram associação com o vídeo, que foi introduzido elencando a gravidade, entre outros, e cada um com sua forma de explicar.

Para finalizar, foi apresentado o Projeto de Extensão¹¹ e a matéria que a TV Universitária publicou sobre o Projeto da Maleta Dinâmica¹² (foto 5), que está disponível no canal do YouTube, destacando que esse Projeto de Extensão terá continuidade para as escolas que solicitarem, com objetivo de mostrar as ideias e que essas não saíram de uma única pessoa, mas sim de todo um coletivo que trabalha junto para que a ciência aconteça.

¹¹ O Projeto de Extensão e a matéria que a TV Universitária publicou sobre o Projeto da Maleta Dinâmica está disponível no canal do YouTube, através do link: <https://youtu.be/aRdLbglTCUI>, com 620 visualizações até o dia 24/04/2021 às 15h03min

¹² A entrevista se encontra disponível no canal do YouTube, através do link <https://youtu.be/aRdLbglTCUI>, com 620 visualizações até o dia 24/04/2021 às 15h03min

Foto 5 - Matéria que trata de experimentos para ensinar física



Fonte: da autora¹³.

3.2 V LIVE DO PPGEEN – DIÁLOGO ABERTO SOBRE CIÊNCIA COM PROFESSOR Dr. ANDRÉ KOCH TORRES ASSIS

Foto 6 - Registro do Evento com prof. Dr. André K. T. Assis



Fonte: da autora¹⁴.

O evento denominado de V Live do Programa de Pós-Graduação do Ensino de Ciências Naturais propiciando um diálogo aberto sobre ciência contou com a participação especial do professor Doutor André Koch Torres de Assis da Unicamp, com professores da UFMT (a quem

¹³ Foto feita do site: <https://youtu.be/aRdLbglTCUI?t=1> Acesso em: 24 de abr. de 2021 às 15h03min

¹⁴ Foto feita do site: <https://youtu.be/o2oumqWf5po?t=20> Acesso em: 25 de maio de 2021 às 15h50min

gentilmente se reforçam os agradecimentos), com os graduandos e mestrandos, e ocorreu no dia 27 de agosto de 2020 por meio do link <https://youtu.be/o2oumqWf5po?t=71> com transmissão ao vivo via canal do YouTube com início às 17h00min, com duração de 01h46min obtendo 253 visualizações até o dia 22 de outubro de 2021 às 22h

O objetivo desta conferência foi justamente para compartilhar com os professores e graduandos essa conversa informal e trocas de ideias, principalmente, sobre a trajetória do Professor Dr. André Assis com o estudo direcionado a Weber, Mach e Mecânica Relacional. O Professor André relatou que durante a graduação, em uma reunião com os alunos, um de seus colegas comentou sobre o Princípio de Mach e a experiência do balde de Newton, trazendo interpretações sob o ponto de vista de Newton e de Mach, despertando certa curiosidade, pois suas intuições físicas estavam começando a fazer sentido, mesmo não sabendo ainda implementar as ideias de Mach.

Durante a Pós-graduação, o Professor Dr. André de Assis destacou que ao querer explicar a precessão do periélio dos Planetas, querendo buscar uma analogia com o eletromagnetismo, com o Sol girando ao redor do eixo, talvez chegando a um campo magnético gravitacional com influência em Mercúrio. Posteriormente, decidiu fazer as contas, mas com a necessidade de saber qual velocidade ele usaria para Mercúrio, e tentar obter o mesmo resultado da relatividade e, com isso, veio a dúvida, pois ele usava a velocidade de Mercúrio em relação ao centro do Sol, a mancha solar, a Terra e, com isso, foi perguntar aos seus professores e cada um lhe dava uma resposta diferente e ele precisava saber exatamente o significado daquela velocidade na força de Lorenz.

Assim, ao ler os livros de eletricidade na parte de relatividade, ele percebeu que eles falavam da parte do observador ou referencial (por sinal, muito estranho para ele, pois a carga estava interagindo com ímã), Mercúrio interagindo com o Sol e não com o observador, e aí ele começou brincar com a força de Lorentz, mudando o significado dessa velocidade por conta própria.

Ao final da Pós-graduação, o professor descobriu em um livro da história da ciência a força de Weber em uma comparação com a força de Coulomb, mas com a velocidade relativa entre as cargas interagentes e chegou realmente ao que buscava, não uma velocidade em relação ao observador ou referencial, mas algo que coincidiu com sua proposta.

Dessa forma, o professor registrou que começou a trabalhar fielmente com a força de Weber na Inglaterra, fazendo seu pós-doutorado em 1987, em física de plasma. Nesse tempo, ele usava as horas livres para trabalhar com questões alternativas e, com o livro da História da Ciência, ele utilizou as ideias do Weber para realizar as contas e encontrou a explicação do

balde de Newton que, finalmente, o conduziu a precessão do periélio, mas também a questão do princípio de Mach, implementando suas ideias com a busca em longos anos em que ele procurava encontrar nas leis algo que estivesse em acordo com sua intuição física.

Durante a *live*, o professor Dr. Sergio de Paula pediu ao professor Dr. André de Assis, em síntese, para explicar o que seria a Dinâmica Relacional e a diferença para a física tradicional. Em sua resposta, o professor enfatizou que essa tem muito a ver com a experiência do balde de Newton, e que o nome relacional é para não confundir com a relatividade e a ideia do relacional está associada a não haver movimento de matéria em relação ao vazio como dizia Newton, ou seja, na Mecânica Relacional há movimento de um corpo em relação a outro, uma teoria matemática que implementa as ideias de Mach.

Posteriormente, o Professor Dr. André Assis enfatizou que é importante levar essa discussão sobre o experimento do balde de Newton para o Ensino Médio, principalmente, pelo fato da presença de professores da educação básica na referida *live*, deixando explícito seu incentivo para todos os professores que desejam promover a interação de seus alunos com a Mecânica Relacional.

Na sequência, ele apresentou o experimento do balde com o vidro de shampoo que ele utiliza durante todas as suas apresentações e palestras, reforçando a questão do perfil parabólico da água visível a todos, promovendo a pergunta crucial em relação ao seu movimento com o recipiente de shampoo, com a Terra e o resto do Universo, como as estrelas e galáxias, bem como a apresentação das possibilidades de interpretação sob o ponto de vista Newton, Einstein e Mach, levando esse questionamento para as aulas de física, destacando que, muitas vezes, podem até não ter respostas, mas o estímulo levará os alunos a diferentes caminhos.

Mediante o exposto sobre a interpretação do experimento, foi discutido sobre quais seriam as possibilidades de provar o perfil parabólico da água no balde (vide apêndice), enfatizando o ponto de vista da Mach na explicação da casca esférica de vidro, com ideias filosóficas e possíveis experimentos em laboratório, no qual possam medir esses efeitos tão pequenos para saber quem está certo, ou seja, não se consegue girar o Universo, mas ao se girar uma casca de vidro, uma vez por segundo ao redor de um balde parado, com as sugestões de Newton e Ernest Mach e Einstein, qual seria o perfil da água?

O Professor Dr. Frederico traz para o diálogo a questão da Mecânica Relacional, com o exemplo do envoltório da casca de vidro em torno do balde de Newton e a relação dos referenciais e, principalmente, com os referenciais não inerciais. Em resposta, o Professor Dr. André Assis utilizou a demonstração com o vidro de xampu e relatou que se ele girar o recipiente na horizontal e quanto mais rápido ele girar, maior será a tensão do barbante até que

vai chegar um momento, que se ele vai girar muito rápido que o barbante poderá arrebentar. E com o referido exemplo leva a imaginar a situação do referencial que está girando com o recipiente, do qual será visto parado e será percebido, novamente, que ela vai arrebentar por conta da força centrífuga, embora tal força seja “inata” na concepção newtoniana.

Prosseguindo com a devolutiva dos argumentos supracitados, o Professor Dr. André Assis utilizou a demonstração da queda de uma caneta com os argumentos das forças que a fez cair como, por exemplo, a Terra puxando para baixo. Logo em seguida, volta novamente com o recipiente de xampu que representa o balde de Newton e, com a Mecânica Relacional, explica que essa força centrífuga passa a ser interpretada como uma força real, proveniente da interação do Universo com os objetos em questão. Trata-se de uma força de origem gravitacional responsável por empurrar a água para as paredes no experimento do balde do Newton e provocar o efeito de um paraboloide de revolução. Será essa que romperá o barbante da garrafa, que irá achatar a Terra pelo fato dessa girar uma vez por dia ao redor do eixo, ou seja, por intermédio dessa interpretação se encontrarão os agentes, as galáxias distantes com interação gravitacional. Assim, o fenômeno será o mesmo, mas a interpretação é completamente diferente à da Mecânica Clássica Newtoniana.

A exposição ainda fez vários direcionamentos a Ernest Mach, informando que todos o conhecem como um filósofo da ciência, mas que, na verdade, Mach foi um físico experimental austríaco com linha de pesquisa em projéteis com velocidade maior do que a do som.

Mach começou a questionar a Mecânica Newtoniana ao dar aula em um cursinho preparatório para o Ensino Médio em Viena, momento em que surgiram algumas indagações sobre o segundo princípio de Newton e a relação daquela aceleração com o espaço vazio. Tal aspecto se mostra relevante, especialmente, a preocupação com o ensino de física e as contribuições futuras ao realizar a publicação do livro *Ciência da Mecânica*, no qual poderia ser apresentada outra interpretação para a mecânica diferente das de Isaac Newton.

Esse aspecto implica no fato de que vários questionamentos propiciam demonstrar falhas em algumas teorias, que apresentam muitas forças nos materiais didáticos, colocando essas teorias em cheque, tanto em um sentido lógico quanto psicológico, de maneira tal que seja relevante perceber que há questionamentos importantes que a teoria não responde.

Nesse sentido, importante entender que muitos profissionais adotam certa postura de defensores de algumas teorias e que o importante é saber que essa, por si mesma, se sobressai frente a esses questionamentos, sem a necessidade de defesa exacerbada.

3.3 I JORNADA VIRTUAL DO ENSINO DE FÍSICA – OFICINA II

A I Jornada Virtual do Ensino de Física, com oficinas da Estática à Dinâmica, sobre o Tema: “A interpretação do balde de Newton na Mecânica Newtoniana e na Mecânica Relacional”, aconteceu no novo cenário em que a sociedade se encontrava vivenciando à Pandemia por COVID-19, tendo por objetivo a busca de alternativas para continuar com as atividades, incluindo principalmente o auxílio de suportes remotos de ensino e aprendizagem e a introdução de novos métodos, apoiados em tecnologias digitais. Em outras palavras, repentinamente, as aulas presenciais foram canceladas e houve a necessidade de aplicação de uma modalidade de ensino remoto, exigindo de professores e alunos um ensino e aprendizagem adaptados às tecnologias de comunicação e informação (TIC’s).

Foto 7 - Tela de abertura da I Jornada Virtual do Ensino de Física



Fonte: da autora¹⁵.

Mediante o exposto, a I Jornada Virtual (vide foto 7) com suas oficinas foi ofertada em dois momentos e com públicos diferentes, a primeira fase com professores da rede de ensino público e a segunda com graduandos na modalidade de ensino on-line, ambas por intermédio de uma transmissão ao vivo pela plataforma Youtube, no Canal do Programa de Pós-Graduação

¹⁵ Foto feita do site: https://youtu.be/NUUILpH_BQ?t=321 Acesso em: 24 de abr. de 2021 às 16h24min

do Ensino de Ciências Naturais (PPGECN) do Mestrado Profissional da UFMT, dialogando sobre como os professores estão dispostos a se libertarem dos métodos tradicionais de interpretação dos eventos pela Mecânica Clássica, favorecendo a interação virtual entre a pesquisa e a comunidade, conforme convite virtual a seguir:

Foto 8 - I Jornada Virtual do Ensino de Física

I JORNADA VIRTUAL DO ENSINO DE FÍSICA
OFICINAS DA ESTÁTICA À DINÂMICA

ALGUMAS CONTRIBUIÇÕES DE ARQUIMEDES, NEWTON E CONTEMPORÂNEOS PARA O ENSINO DE FÍSICA

I OFICINA: A INTERPRETAÇÃO DO BALDE DE NEWTON NA MECÂNICA NEWTONIANA E MECÂNICA RELACIONAL.
MESTRANDA
LUCIANA VITAL
DIA 08/12/2020

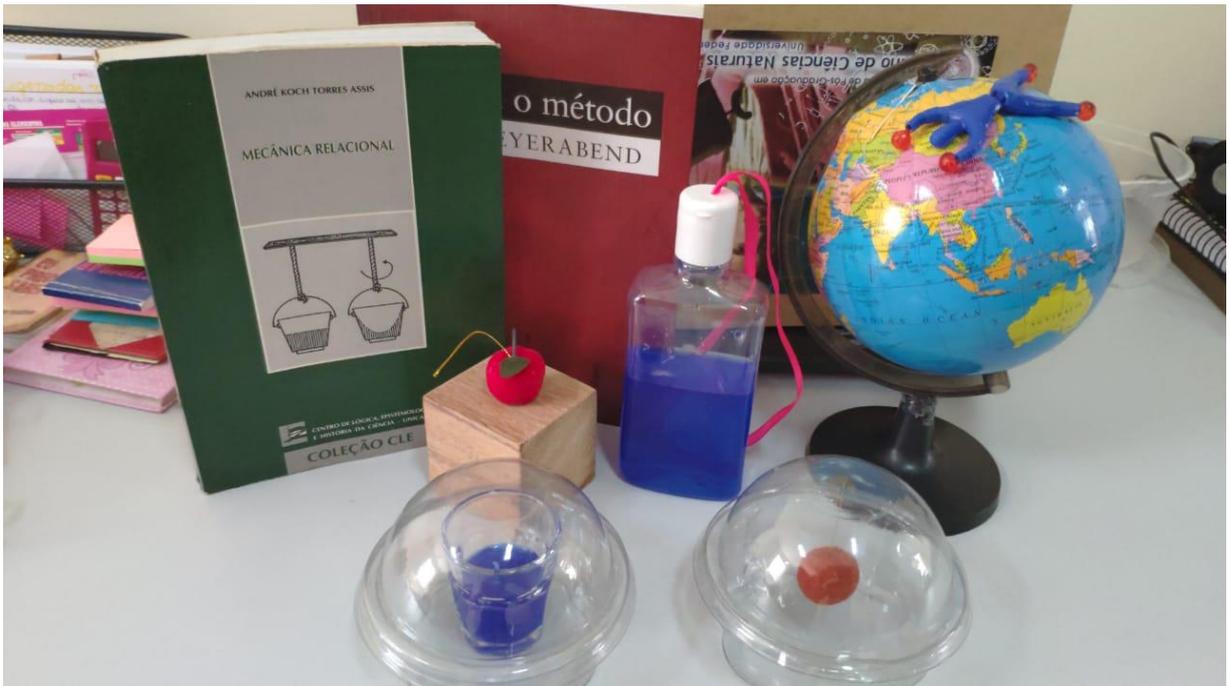
II OFICINA: APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS NO ENSINO DE FÍSICA EM CONCEITOS RELACIONADOS A ACIDENTE DE TRÂNSITO.
MESTRANDA
ANDREIA AGUILLERA
DIA 09/12/2020

III OFICINA: O DESPERTAR DA CONSCIÊNCIA CIENTÍFICA NO ENSINO DE FÍSICA MECÂNICA. É POSSÍVEL?
MESTRANDO
JOÃO FONSECA
DIA 10/12/2020

Fonte: da autora.

Nesta jornada virtual, as oficinas ficaram divididas em três momentos, iniciando com a trajetória de vida e obra de Isaac Newton, enfatizando seus principais fatos e curiosidades, posteriormente, com a oficina sobre o experimento do balde de Newton, na interpretação da Mecânica Newtoniana e, finalizando, com o experimento do balde de Newton na interpretação da Mecânica Relacional. Na foto a seguir (foto 9) são expostos alguns dos materiais utilizados na exposição do evento realizado de forma virtual.

Foto 9 - Materiais usados na exposição virtual



Fonte: da autora.

Para que as oficinas fossem ofertadas, foi disponibilizado um link de inscrição por intermédio da plataforma do SIMPLA e um convite virtual encaminhado por telefone via *WhatsApp*. Com todas as inscrições realizadas, bem como todas as informações dos participantes/professores, foi criado um grupo com o objetivo de serem realizados os alinhamentos necessários para a realização da transmissão ao vivo.

Na primeira oficina com os professores, foi disponibilizado o link da sala virtual via *Google Meet* para que eles pudessem compartilhar suas experiências durante a oficina, e que havia sido também disponibilizado o link via *Youtube* da referida transmissão para que ficasse disponível no canal e na página do Programa de Pós-Graduação do Ensino de Ciências da UFMT, com um questionário de encerramento com as contribuições de cada participante.

Durante a oficina, muitos professores se envolveram ativamente, solicitando participação via áudio para que pudessem contribuir efetivamente com o assunto, ou para realizar algum tipo de contribuição com algum tipo de pergunta ou indagação. Outro grupo de professores, por indisponibilidade dos recursos de áudio e imagem, deixaram suas contribuições no chat, propiciando assim outro caminho para discussão sobre o assunto que estava sendo abordado.

Na primeira oficina com os professores foi aplicado um questionário de encerramento que teve como objetivo principal identificar quais são os professores que estão dispostos a se libertarem dos métodos tradicionais de interpretação dos eventos.

Nesta primeira oficina, participaram professores em um total de 33 (trinta e três), sendo esses de alguns Estados do Brasil, conforme tabela 1 a seguir apresentada.

Tabela 1 - Relação de professores participantes por municípios e Estados

RELAÇÃO DE PROFESSORES POR ESTADO		
QTD	MUNICÍPIO	ESTADO
02	ABAETETU	PA
10	CAMPO VERDE	MT
01	CANARANA	MT
01	COLNIZA	MT
02	CUIABÁ	MT
01	DIAMANTINO	MT
10	JACIARA	MT
01	RIBEIRÃO CASCALHEIRA	MT
01	SANTARÉM	PA
02	TANGARÁ DA SERRA	MT
02	VÁRZEA GRANDE	MT

Fonte: dados da pesquisa.

Neste grupo havia professores de todas as áreas do conhecimento com suas respectivas disciplinas, conforme relacionado na tabela a seguir.

Tabela 2 - Relação de professores participantes por disciplina e área de conhecimento

RELAÇÃO DE PROFESSORES POR DISCIPLINA E ÁREA DO CONHECIMENTO		
TD	DISCIPLINA	ÁREA DO CONHECIMENTO
06	MATEMÁTICA	MATEMÁTICA
03	QUÍMICA	CIÊNCIAS DA NATUREZA
10	FÍSICA	CIÊNCIAS DA NATUREZA
01	HISTÓRIA	CIÊNCIAS HUMANAS
01	GEOGRAFIA	CIÊNCIAS HUMANAS
03	BIOLOGIA	CIÊNCIAS DA NATUREZA
04	LÍNGUA PORTUGUESA	LINGUAGENS
01	MATEMÁTICA	UNIDOCÊNCIA
01	PORTUGUÊS	UNIDOCÊNCIA
03	OUTROS	DIVERSOS

Fonte: dados da pesquisa.

Na segunda oficina participaram 17 graduandos de diversos Estados do Brasil, conforme segue exposto na seguinte tabela.

Tabela 3 - Relação de graduandos por município e Estado

RELAÇÃO DE GRADUANDOS POR ESTADO		
QTD	MUNICÍPIO	ESTADO
01	CAMPO VERDE	MT
01	CHAPADA DOS GUIMARÃES	MT
09	CUIABÁ	MT
01	GALANTE	PB
03	GUARANTÁ DO NORTE	MT
01	IPORA	GO
01	VIÇOSA	CE

Fonte: dados da pesquisa.

Deste grupo, participantes da segunda oficina, havia graduandos de diversas áreas de conhecimento, conforme explicita a tabela a seguir.

Tabela 4 - Relação de Graduandos por Estados e Áreas de Conhecimento

RELAÇÃO DE GRADUANDOS POR ESTADO		
QTD	CURSO	POLO
11	CIÊNCIAS DA NATUREZA	CUIABÁ/MT
01	SOCIOLOGIA E LETRAS	CUIABÁ/MT
03	CIÊNCIAS DA NATUREZA	GUARANTÁ DO NORTE/MT
01	CIÊNCIAS DA NATUREZA	VIÇOSA/CE
01	CIÊNCIAS DA NATUREZA	GALANTE/PB

Fonte: dados da pesquisa.

Os objetivos para aplicar o questionário de encerramento foi para: 1) saber se os professores e graduandos já tinham ouvido falar no experimento do balde de Newton e a sua relação com o referencial inercial; 2) para investigar o interesse de conhecê-lo e a possibilidade de apresentá-lo aos seus alunos sob a ótica da Mecânica Newtoniana e da Mecânica Relacional, principalmente, por atuarem em áreas diferentes e, assim, 3) para verificar se estavam realmente, dispostos a se libertarem dos métodos tradicionais de interpretação dos eventos pela Mecânica Clássica.

Contudo, nesta pesquisa, procurou-se apresentar um esboço breve e parcial de alguns elementos históricos relacionados como a apresentação da experiência do balde de Newton sob a interpretação da Mecânica Newtoniana e Mecânica Relacional, utilizando-se dos referidos métodos supracitados, com o objetivo de oferecer um pano de fundo que pudesse ser útil à construção do conhecimento relacionado ao movimento dos corpos.

Ao tratar dos acontecimentos que precedem o surgimento da Mecânica Newtoniana e Mecânica Relacional sob a interpretação da experiência do balde de Newton, pensou-se em um

público que pudesse estar motivado ao encontro do que havia sido proposto, principalmente, por conta da necessidade da recolha dos dados de forma remota. Assim segue os resultados com suas respectivas discussões sobre a oficina e as *lives* que foram oferecidas aos professores graduandos.

4 RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO APLICADO AOS PROFESSORES

A construção de registros decorrentes de pesquisas envolvendo, especialmente, professores e graduandos, propicia entender as experiências que se vinculam com o objeto de pesquisa e que servem de suporte para demonstrar as perspectivas relacionadas com os instrumentos que se associam com o enfoque de estudo.

Levando em conta que a profissão docente envolve diversos afazeres específicos que geralmente têm suporte no conhecimento deste profissional, especialmente por tais conhecimentos serem, em boa parte, construídos e reconstruídos ao longo do cotidiano escolar.

Este momento em que o mundo e, de forma mais específica o Brasil, vivencia uma pandemia, que tem como uma das consequências o afastamento social, impedindo o funcionamento presencial das escolas, levando a utilização de novas formas de contato, através da tecnologia digital. Tal circunstância se aplica ao processo de desenvolvimento da pesquisa, onde os registros dos dados foram coletados com base nas questões respondidas via meio digital pelos professores e graduandos envolvidos.

A descrição das respostas individuais às questões que integram o questionário desta pesquisa seguiu o enfoque de pesquisa qualitativa em ensino de física. Embora não se faça um registro linear das respostas, essas são registradas na íntegra e, na sequência das respostas de cada questão, serão feitos os comentários integrativos e interpretativos dos posicionamentos dos participantes à luz da fundamentação teórica.

Nesse sentido, a questão principal que direciona esta pesquisa é: *você está disposto a se libertar dos métodos tradicionais de interpretação dos eventos pela Mecânica Clássica?*

Este questionamento envolve entender os métodos tradicionais de interpretação da Mecânica Clássica. Para esta questão, entre os trinta e três professores que participaram da pesquisa, apenas uma professora não demonstrou interesse nos novos métodos de ensino, ressaltando-se que todos responderam com apenas um SIM e com o NÃO desta professora. Portanto para a resposta SIM ou resposta NÃO, não houve por parte dos participantes qualquer manifestação ou justificativa.

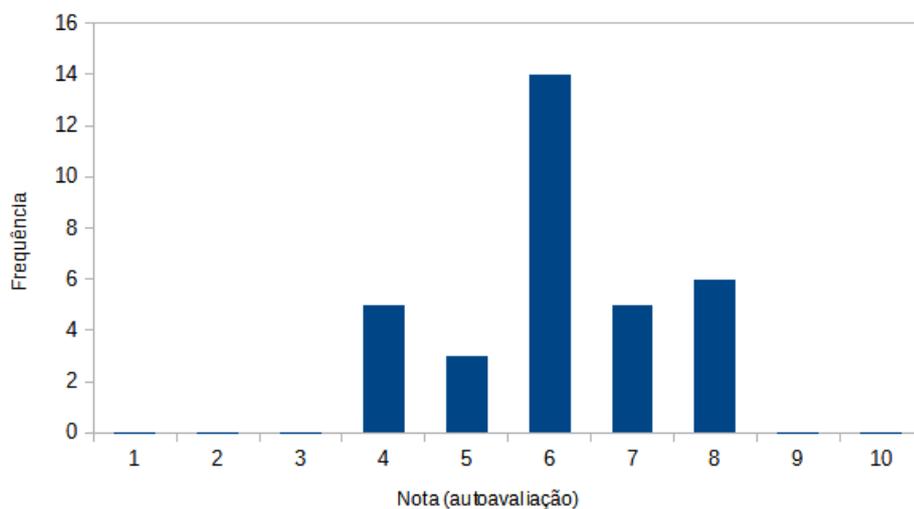
Foi observado, posteriormente, ao longo das demais perguntas do questionário que a referida professora manteve sua postura em não ter interesse em métodos alternativos de interpretação, mas foi observado sua contribuição e participação efetiva no que concerne em

sua prática pedagógica. Esse trabalho não teve a intenção de convencimento e a neutralidade foi mantida dentro do possível.

Tendo como enfoque o fato de que, ao longo do tempo na história da humanidade, a ciência passou por processos evolutivos de toda ordem, sendo relevante registrar que a crença de que as leis que regiam a natureza estivessem associadas apenas com a Terra e suas proximidades. Estudo mais avançados tem contribuído para desmistificação de muitas leis da chamada física clássica não sejam válidas para as particularidades e interpretações da considerada física moderna. No entanto, para compreensão desses avanços, muitos passos na construção deste conhecimento foram necessários e o fundamento destas particularidades se verifica nas descobertas de estudiosos, que são conhecidos como pensadores.

Na pergunta em que deveriam atribuir valores dentro de uma escala de 0 (zero) a 10 (dez) se expôs: *qual seria uma nota sobre o seu próprio conhecimento sobre as leis de movimento de Isaac Newton?* Na devolutiva, 5 professores se autoavaliaram com a nota 4 (quatro); 3 professores com a nota 5 (cinco); 14 professores com a nota 6 (seis), 5 professores com a nota 7 (sete) e 6 professores com a nota 8 (oito), do total de 33 respondentes.

Gráfico 1 - Autoavaliação sobre as leis de movimento de Isaac Newton



Fonte: dados da pesquisa.

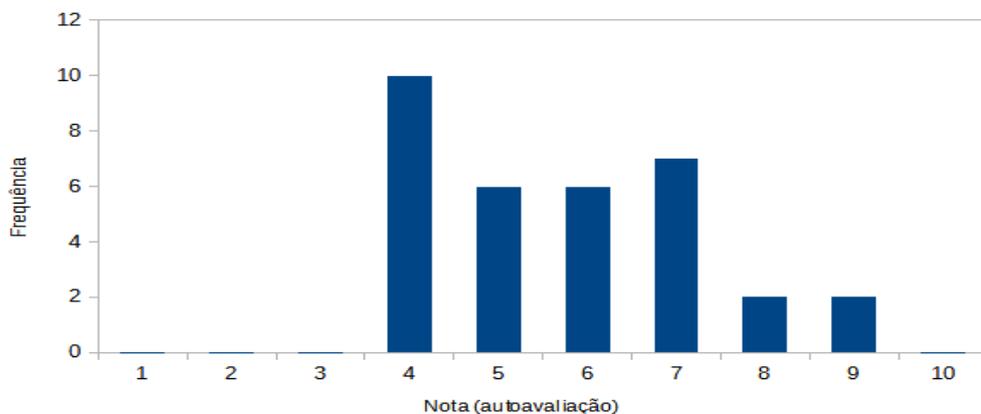
Como o ramo do conhecimento que trata do equilíbrio e do movimento dos corpos é a mecânica, e que nos últimos trezentos anos o ensino de física tem sido baseado nos trabalhos de Isaac Newton, que se alicerça nos conceitos de espaço e tempo absolutos. Contudo, os estudos e reflexões dos filósofos e cientistas sobre a distinção entre movimento absoluto e relativo, fez-se necessário saber dos participantes o que eles entendiam sobre as leis do

movimento proposto por Newton. Percebe-se nesta questão que boa parte dos professores estão satisfeitos com o seu próprio conhecimento sobre as leis de movimento de Isaac Newton, mediante a devolutiva em suas autoavaliações.

Na sequência foi perguntado aos professores se eles *conheciam alternativas às leis de Newton para representação da realidade? Bem como quais seriam essas alternativas e se teriam interesse em conhecer alternativas às Leis de Newton*. Em retorno, 50% dos professores responderam não conhecerem essas alternativas, 30% desses responderam haver algumas especulações, 10% responderam que gostariam de conhecer, enquanto os últimos 10% responderam ser somente a Lei de Newton a alternativa para representação da realidade. Na devolutiva dessa questão se percebe que mais da metade destes participantes não conhecem essas alternativas, justamente pelo fato de partilharem somente as **três leis de Newton** que são usadas para descrever a **dinâmica** dos corpos, isto é, as causas que podem alterar seu estado de movimento, como se não houvesse desdobramentos, tais como o formalismo de Hamilton e de Lagrange, entre outros.

Ao perguntar-lhes *qual seria a nota que eles atribuiriam a si mesmos em relação ao conhecimento e aplicação de referenciais utilizados nas inúmeras teorias sobre o movimento dos corpos*, dos 33 professores que responderam ao questionário: 10 professores se atribuíram nota 4 (quatro), 6 professores se atribuíram nota 5 (cinco), 6 professores se atribuíram nota 6 (seis), 7 professores se atribuíram nota 7 (sete), 2 professores se atribuíram nota 8 (oito) e 2 professores atribuíram nota 9 (nove).

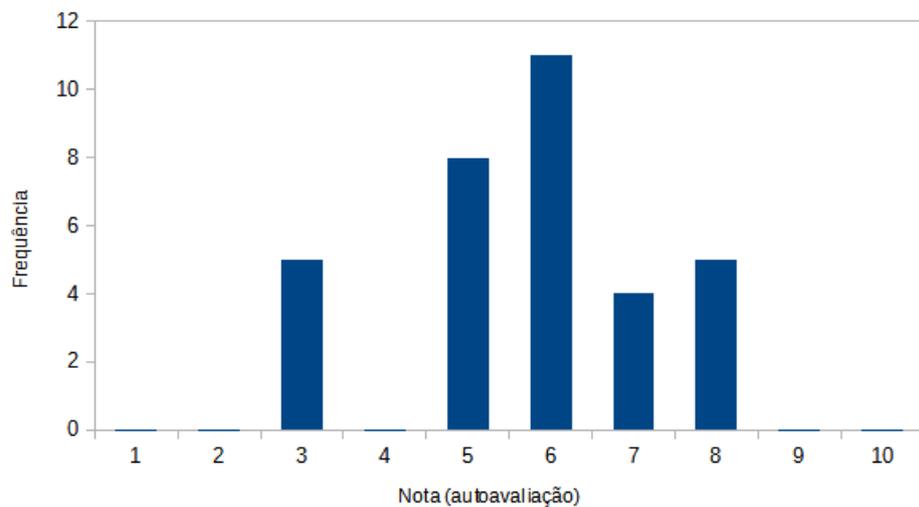
Gráfico 2 - Autoavaliação sobre conhecer e aplicar teorias sobre movimento dos corpos



Fonte: dados da pesquisa.

Ao atribuírem a nota sobre a aplicação de referenciais nas inúmeras teorias sobre o movimento dos corpos, percebe-se que próximo da metade dos participantes atribuem-se notas inferiores a cinco, isso por conta da dificuldade que alguns professores têm em explicar o que vem a ser um referencial e que o movimento depende de quem o está o medindo. Utilizando a questão anterior como suporte que havia sido relacionado à pergunta *sobre qual seria a nota atribuída a si mesmo, agora sobre o conhecimento de referencial na Mecânica Newtoniana e em teorias distintas da clássica Teoria Newtoniana*, 5 professores se deram nota 3 (três), 8 professores se deram nota 5 (cinco), 11 professores se atribuíram nota 6 (seis), 4 professores registraram nota 7 (sete) e 5 professores marcaram nota 8 (oito).

Gráfico 3 - Autoavaliação sobre conhecimento de referencial na Mecânica Newtoniana

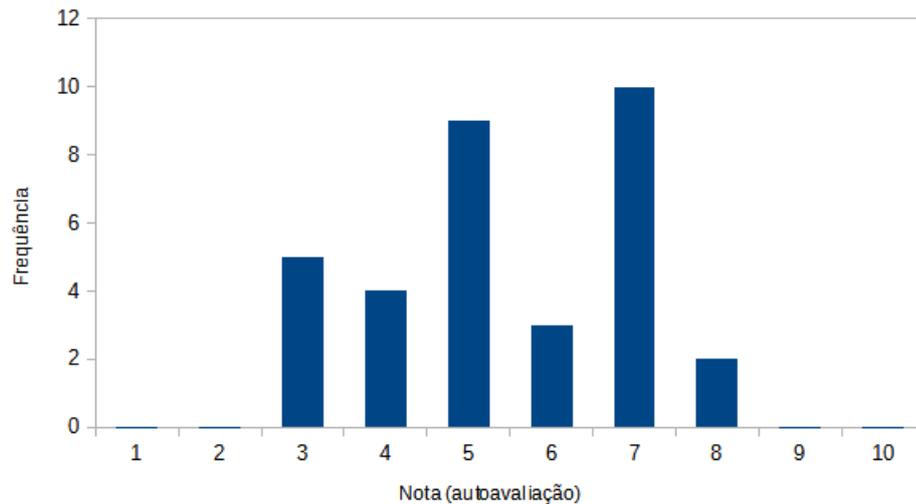


Fonte: dados da pesquisa.

Contudo, percebe-se na devolutiva da questão supracitada que mais da metade dos professores demonstra estar satisfeita com seu conhecimento sobre o referencial na Mecânica Newtoniana, limitando-se com as teorias distintas.

No questionamento direcionado ao próprio conhecimento dos professores, sobre a pergunta *“podemos afirmar que o conceito de inércia está associado à interação entre os corpos e as galáxias?”*. Entre os respondentes se teve o seguinte retorno: houve 5 professores com registro de nota 3 (três), 4 professores deram nota 4 (quatro), 9 professores registraram nota 5 (cinco), 3 professores se atribuíram nota 6 (seis), 10 professores marcaram nota 7 (sete) e 2 professores marcaram nota 8 (oito).

Gráfico 4 - Conhecimento sobre conceito de inércia

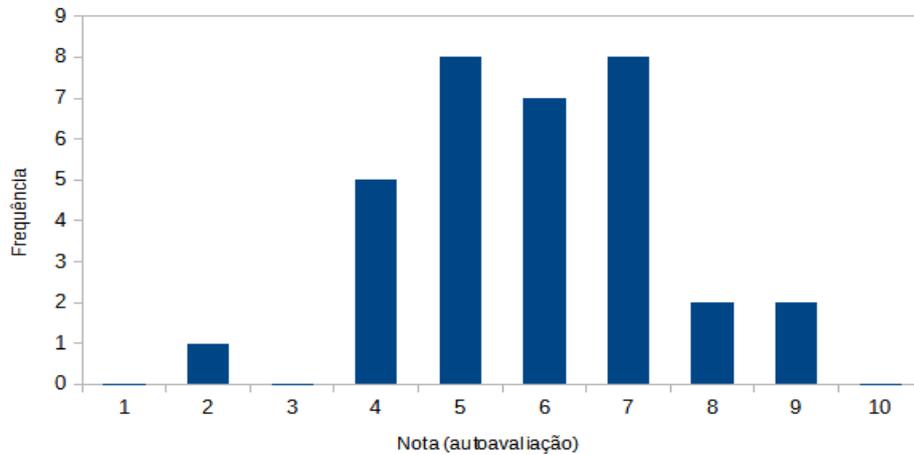


Fonte: dados da pesquisa.

Mediante a devolutiva da questão anterior, percebe-se que mais da metade dos professores associam a interpretação da experiência do balde de Newton com a interação entre o corpo de prova e as galáxias distantes, deixando indícios que compreenderam a proposta de interpretação frente à Mecânica Relacional.

De uma escala de 0 (zero) a 10 (dez), qual seria a confiança dos professores em apresentar teorias alternativas à Teoria Newtoniana para o movimento dos corpos? Em retorno à questão anterior, houve o seguinte registro: 1 professor atribuiu a escala de valor 2 (dois), 5 professores marcaram escala de valor 4 (quatro), 8 professores registraram escala de valor 5 (cinco), 7 professores atribuíram escala de valor 6 (seis), 8 professores marcaram escala de valor 7 (sete), 2 professores atribuíram escala de valor 8 (oito) e 2 professores atribuíram escala de valor 9 (nove).

Gráfico 5 - Confiança em apresentar alternativas à Teoria Newtoniana

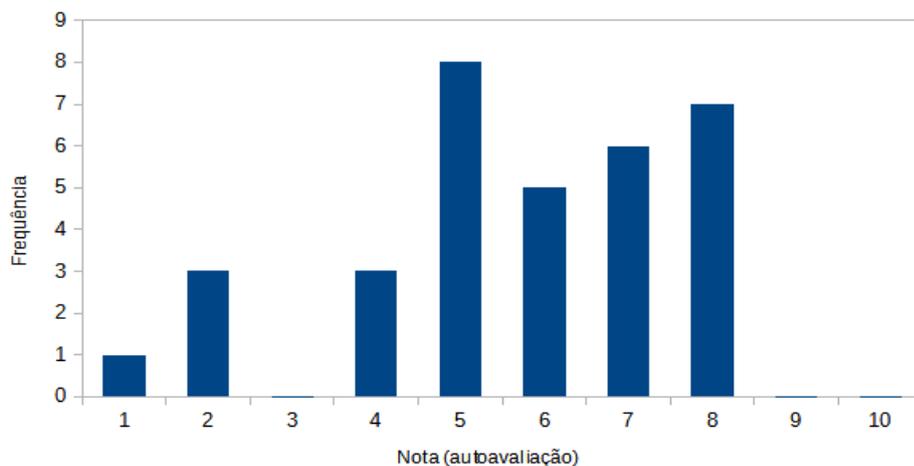


Fonte: dados da pesquisa.

Ao destacar teorias alternativas às newtonianas, busca-se comparar esta “nova” mecânica com a newtoniana com o objetivo de obter uma compreensão mais clara dos conceitos originais. Assim se percebe, por meio destas respostas, que mais da metade dos professores se sentem confiantes em pesquisar quais seriam estas alternativas para apresentá-las em suas aulas.

Na questão direcionada à Mecânica Relacional, *perguntou-se qual seria a escala de 0 (zero) a 10 (dez), sobre o grau de confiança em apresentar a Mecânica Relacional para o movimento dos corpos aos seus alunos*. As respostas dos participantes à questão acima foram as seguintes: a maioria dos professores são confiante em relação a essa nova mecânica, em que 1 se colocou na escala 1(um), 3 com escala 2 (dois), 3 na escala 4 (quatro), 8 com escala 5 (cinco), 5 registram a escala 6 (seis), 6 na escala 7 (sete) e 7 marcaram a escala 8 (oito).

Gráfico 6 - Grau de confiança em apresentar a Mecânica Relacional

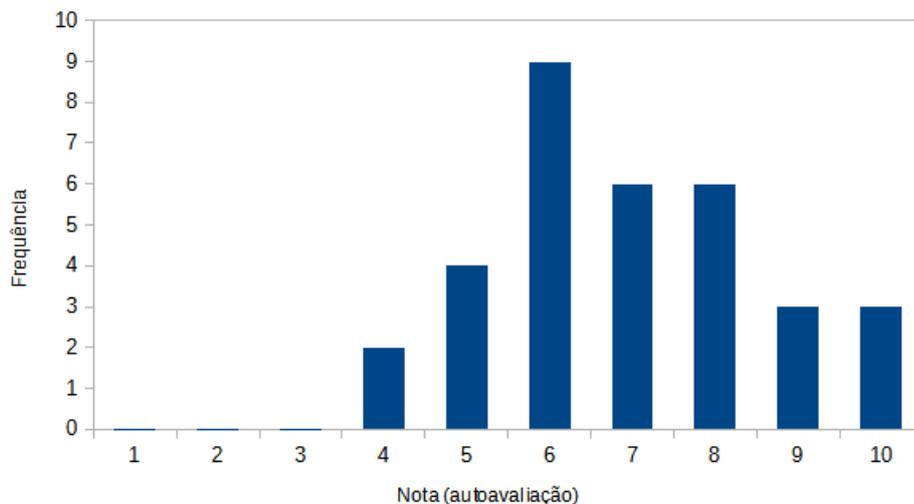


Fonte: dados da pesquisa.

Com a devolutiva da questão anterior se percebe que a oficina aplicada na *live* trouxe subsídios para que os participantes pudessem futuramente utilizar essa nova interpretação para explicar o movimento dos corpos, principalmente, por conta do material que foi disponibilizado aos professores que solicitaram durante a *live*.

Em relação à experiência do balde de Newton, foi perguntado para esses participantes *qual seria o grau de confiança de 0 (zero) a 10 (dez) em apresentar a referida experiência em suas aulas?* Analisando as devolutivas dos professores se percebe que um pouco mais da metade dos 33 que responderam esta questão, em especial, se sentem confiantes com grau acima de 7 (sete) em apresentar o experimento. Assim, 2 responderam terem grau 4 (quatro) de confiança, 4 expuseram terem grau 5 (cinco) de confiança, 9 registraram terem grau 6 (seis) de confiança, 6 marcaram terem grau 7 (sete) de confiança, 6 expressaram terem grau 8 (oito) de confiança, 3 têm grau 9 (nove) de confiança e 3 têm grau 10 (dez) de confiança.

Gráfico 7 - Grau de confiança em apresentar a experiência do balde de Newton



Fonte: dados da pesquisa.

Como o objetivo de apresentar a experiência do balde de Newton foi para trazer interpretações sob o ponto de vista da Mecânica Newtoniana e Mecânica Relacional, notou-se, por intermédio das devolutivas supracitadas, que mais da metade dos participantes demonstrou interesse em utilizá-la, em suas aulas, projetando futuramente um debate sobre os conceitos de espaço e tempo absoluto de Newton.

Com base neste pressuposto se fez a seguinte questão: *mediante a importância da história dos pensadores, você já tinha ouvido falar sobre Ernst Mach, Karl Emil Maximilian*

Weber, Gottfried Wilhelm Leibniz, George Berkeley, entre outros? Dos 33 professores, 18 (dezoito) que responderam ao questionário aplicado disseram terem estudado e ouvido falar nesses pensadores, mas 15 (quinze) afirmaram que não os conheciam.

Destaca-se, nesta pergunta, que destes 18 (dezoito) professores, alguns tiveram contato com a filosofia por intermédio de livros didáticos e que, possivelmente, nesses o destaque para os filósofos supracitados fosse ínfimo e que os demais professores ouviram falar só quando estavam frequentando seu Ensino Superior, conforme relato apresentado via conversa on-line por aplicativo e contribuições via áudio durante a realização das *lives*.

Nesse sentido, entre a outra parcela de quinze professores, boa parte demonstrou interesse em aprofundar nestas leituras, justamente pelo fato de alguns dos cientistas citados fazerem parte da vida de Isaac Newton e terem contribuído, significativamente, com a história da humanidade. Assim, relataram via conversa on-line e durante a apresentação que é muito triste esse esquecimento por parte de alguns e destaque para outros.

Dentro desse mesmo enfoque, foi feita a seguinte pergunta: *com a tendência tecnológica da sociedade, você julga ser importante resgatar os Clássicos, as origens para se ter uma base sólida?*

Diante desta constatação da facilidade em se pesquisar utilizando-se dos meios tecnológicos, registra-se que 32 (trinta e dois) professores expressaram que julgam ser importante resgatar os clássicos, as origens, para se ter uma base sólida de aprendizagem, com apenas 01 (um) professor relatando que não verifica esse interesse.

Na busca por identificar a relevância deste enfoque de estudo com base na contextualização histórica que se aplica para a ciência, especialmente, dentro dos estudos da física, foi apresentado o seguinte questionamento: *com a oficina de hoje, você se sentiu motivado em aprofundar conhecimentos no contexto histórico vivido por Newton e contemporâneos?*

Por meio da oficina sobre a interpretação da experiência do balde de Newton na Mecânica Newtoniana e Mecânica Relacional, ofertada pela I Jornada do Ensino de Física, todos responderam estarem motivados para aprofundar conhecimentos sobre o contexto histórico vivido por Isaac Newton e contemporâneos, solicitando links, canais, dicas e materiais virtuais por meio das conversas por meio eletrônico que foram desenvolvidas.

A oficina desenvolvida enfocou a Mecânica Relacional, que se contrapõe a vários aspectos da Mecânica de Newton, respondendo questões que não haviam sido esclarecidas pelas teorias anteriores, sendo importante aspecto para compreensão de conceitos da física, o que

propiciou o seguinte questionamento: *você conhece alternativas às Leis de Newton para representação da realidade?*

Com o intuito de buscar alternativas às Leis de Newton para a representação da realidade foi possível identificar que 20 (vinte) professores responderam não conhecerem nenhuma dessas alternativas. Mediante a relevância desse questionamento e respeitando a interpretação de cada professor, é possível registrar a percepção identificada durante as contribuições de que alguns atuam em áreas diferentes de sua formação, ficando difícil ter subsídios para buscar essas alternativas para representação da realidade, bem como se verificou que outros professores atuam nas áreas das Ciências Humanas e de Linguagens.

Acerca desse tema, os outros 13 (treze) professores responderam à questão sugerindo algumas alternativas para essa representação, destacando assim apenas as experimentações, o experimento do balde, a primeira Lei, enfatizando o uso do cinto de segurança, a inércia, as forças e deslocamentos, a Lei da Gravidade, o exemplo de empurrar algo, o movimento dentro de um carro em uma curva, deslocamento de pessoas, de lançamentos de foguetes, a Teoria da Relatividade e o experimento do ovo no copo com água.

Ainda, sobre a questão anterior, ressalta-se que no questionamento sobre as alternativas às Leis de Newton para representação da realidade, esses 13 (treze) professores que expressam exemplos não aprofundam em suas respostas, alguns não relatam como seria realmente essa representação frente aos exemplos dados, já outros responderam terem interesse em aprofundar nos estudos para identificar essas alternativas com mais propriedade.

Dentro dessa mesma linha de abordagem, os professores foram confrontados com o seguinte questionamento: *você seria motivado pela leitura de uma revista denominada “Pelos caminhos da Mecânica Relacional: atividades para sala de aula” como produto educacional, com posterior utilização em suas aulas de mecânica?*

Esse enfoque buscou identificar o interesse por esse tipo de material, a ser publicado como Produto Educacional, resultado deste trabalho, e que se destina ao uso prático em sala de aula.

Registra-se que entre os professores envolvidos na pesquisa, 30 (trinta) responderam terem interesse em adotar a referida revista. Do total de 33 (trinta e três) professores, somente 03 (três) relataram não terem interesse, mas justificando o motivo da sua negativa. Na sequência são relatados os comentários dos respondentes.

Mediante a pergunta sobre utilizar uma revista em aula como forma de apoio ao ensino da mecânica, o professor P1¹⁶ relatou ter interesse em utilizar a revista, um produto educacional com recursos didáticos e pedagógicos, principalmente, pela curiosidade que foi despertada por meio das oficinas e que o desejo seria aprofundar neste estudo para abrir seus horizontes.

Analisando essas manifestações se percebe que os profissionais da educação estão abertos para uma nova interpretação sobre o estudo da mecânica, esperando a possibilidade de um diálogo mais aberto sobre a Mecânica Relacional na ótica do experimento do balde de Newton, bem como a possibilidade de interagir, posteriormente, com seus alunos em sala de aula.

Quando os 20 (vinte) professores responderam que utilizariam a revista somente por curiosidade e por se tratar de uma área bem diferente da sua atuação, enfatizando que o novo só vem a acrescentar, percebe-se que eles estão abertos para as futuras parcerias, que podem ser fruto de todo um enfoque de trabalho da educação por meio da interdisciplinaridade, expondo que seria fantástico interagir a física, que é uma Ciência da Natureza, com as Ciências Humanas à luz dos adventos direcionados a uma outra visão da mecânica, para que juntos se possa fazer uma comparação da Mecânica Newtoniana e da Mecânica Relacional e desenvolver novas perspectivas da natureza.

Um outro grupo, composto de 10 (dez) professores, afirmou que a revista ajudaria a entender a mecânica e, de forma mais clara, levando-os a estudarem e terem subsídios para dialogarem, posteriormente, com seus alunos.

Nesse sentido, mediante a referida devolutiva se esperava que o professor cumprisse, efetivamente, o planejamento e que buscasse alternativas, que pesquisasse para fazer com que suas aulas possam ser cada vez melhores, principalmente, na área da física e das interações fundamentais.

P2 e P3 atuam na área de linguagens e relataram que a revista ajudaria a ampliar o conhecimento de mundo, justificaram que a leitura torna as pessoas mais cultas e as ajudaria a desenvolver o poder de argumentação, melhorando a performance lexical. Assim, é importante poder contar com as demais áreas do conhecimento para que se possa compartilhar significados.

Na devolutiva da questão enfocando o uso de um material como uma revista de atividades direcionada para a Mecânica Relacional, P4, que atua na área de física, afirmou que irá utilizar esse produto educacional para verificar, por meio da experiência, na prática, se as

¹⁶ Para resguardar a identidade dos participantes da pesquisa, mas registrar, de forma individualizada, as respostas recebidas, a pesquisa aplica o registro de letra P, em maiúscula, para significar professor, sendo seguido de número para diferenciar os indivíduos ao longo dos registros.

exposições teóricas presentes na revista são verdadeiras. Essa manifestação demonstra que um produto educacional pode cumprir seu objetivo pedagógico no letramento e no desenvolvimento científicos, justamente por instigar à reflexão e ao questionamento. Relevante registrar, portanto, que a referida resposta propicia perceber que este professor (P4) captou a mensagem quando foi utilizado o experimento do balde de Newton na interpretação pela Mecânica Newtoniana e pela Mecânica Relacional. Em sua resposta se percebe que irá fazer a verificação do experimento disponível na revista para posteriores comparações teóricas.

Com essa devolutiva é possível identificar que a mensagem foi dada e foi captada, pois a proposta da revista está em mostrar para o leitor, que também possui pouca familiaridade com as teorias da física do século XX, uma maneira de pensar e estar diante de uma proposta que aceita críticas e dar destaque para uma nova mecânica que reinterpreta as leis de Newton.

Outro participante, professor P5, sendo esse da área de física, enfatizou sua resposta relatando que com esse material espera resolver questões não esclarecidas pela mecânica clássica ou pela Teoria da Relatividade, em virtude de ser baseada nas grandezas relativas. Acredita-se que essa revista possa fornecer parcialmente esse esclarecimento. Quanto à Teoria da Relatividade, não será dada ênfase nesta proposta, uma vez que o objetivo é a interpretação de fenômenos clássicos e o quão disposto o público está para se libertar dos métodos tradicionais de interpretação.

Ressalta-se que quando o professor P5 expõe em sua fala o desejo de resolver questões esclarecidas para cada época, a revista terá as sugestões bibliográficas para que possam sanar dúvidas, principalmente, as que são direcionadas à relatividade, explicitando a leitura do livro da Mecânica Relacional do autor André Koch Torres Assis, com capítulos que falam de Albert Einstein e suas teorias.

A revista denominada "Pelos caminhos da Mecânica Relacional: atividades para sala de aula" que se desenvolve em um produto educacional como fruto desta pesquisa, tem como fulcro atividades e explicação sobre a Mecânica Relacional, e se direciona como material a ser utilizado por alguns professores como divulgação, com o objetivo do resgate histórico, possibilitando maior segurança em trabalhar com seus alunos, relatando que se mostra como um material de apoio e que contribuiria para a construção do conhecimento, enfatizando que é uma alternativa para as aulas. Como o objetivo desse grupo de professores foi o resgate histórico, se pode imaginar, por exemplo, uma aula deles com a crítica de Ernst Mach sobre o conceito de espaço absoluto da Mecânica Newtoniana.

Os professores P6, P7 e P8 atuam na área de Ciências Humanas e responderam que usariam a revista para ampliar seus conhecimentos, conhecer coisas novas, novos termos

científicos, sendo importante salientar que esse grupo mostrou interesse, principalmente porque está buscando o novo, ou seja, estão abertos para as outras áreas do conhecimento e, especialmente, por terem interesse nas questões envolvidas com a física promovendo interação.

Para responder à questão sobre a utilização da revista, P9 relatou que seria interessante, porque é uma teoria sobre o movimento dos corpos pouco trabalhada e que, normalmente, o estudo do movimento dos corpos é proposto parcialmente por Newton e Albert Einstein. E que, no entanto, é importante conhecer também o que foi proposto antes de Newton e o que foi proposto depois de Newton, mas ainda no contexto da Mecânica Clássica.

Nessa resposta se percebe que este professor também entendeu a mensagem e mostrou propriedade em seus argumentos, deixando registradas suas indagações, bem como contribuições sobre a proposta em toda a oficina. Essa postura evidencia a intenção de aprofundar na obra mais importante de Newton, *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, discutida e apresentada na oficina e que constará na revista. Perceberá que Newton introduziu a noção de espaço absoluto como uma condição ideal para que as suas Leis de movimento pudessem ser aplicadas e de forma absolutamente lógica e rigorosa e que no universo Newtoniano o espaço absoluto pode ser entendido como o palco no qual o movimento acontece. Destaca-se que com a interpretação do experimento do balde de Newton, esse professor pode buscar as interpretações que vieram antes, durante e depois de Isaac Newton para dar sustentação ao que se tem estabelecido como verdade.

Os professores P10 e P11 de biologia e química responderam que a Revista seria uma ferramenta eficaz na construção do conhecimento e que seriam motivados para leitura e uso, em virtude de o assunto ser instigante e interessante, pois aplicar conteúdos que mostram outra visão aos alunos, para o seu próprio entendimento, trará um significado importante para a física.

Dessa forma, essa devolutiva dos professores de química e biologia, bem como o notório interesse de utilização em suas aulas e para uso pessoal, acaba motivando novamente as aulas coletivas e o quanto será importante a contribuição deles em suas disciplinas interagindo com a física.

A docente P10, de biologia, relatou que a física é muito bonita de estudar, e quando se atua em outra área, que não seja a disciplina de seu domínio, deixa-se um pouco a desejar e, por isso, é importante o novo. Nesse relato se percebe que P10 é graduada em uma disciplina e atua em outra, que por sinal é a física, atual realidade das escolas públicas, aspecto que se verifica como recorrente em quase todas as Unidades Escolares. No entanto, o interessante dessa resposta é que essa profissional está disposta e aberta para novos métodos de ensino e, principalmente, porque ela mesma enfatiza que a física é linda de estudar, fato pelo qual abre

as portas para que possa contribuir, efetivamente, com a interpretação do experimento frente às mecânicas propostas.

A professora P12 afirmou que seria uma nova metodologia para aprender física, saindo do tradicionalismo, e que ela seria motivada não para ajudar nas aulas de mecânica, mas para seu próprio aprendizado, uma vez que é pedagoga e trabalha com o Ensino Fundamental I. Acredita que mesmo sendo pedagoga, ela possa extrair algo para sua produção com posterior aplicação aos seus alunos, claro que em uma linguagem acessível, porque a ciência vai além dos horizontes e as crianças sempre surpreendem, o que falta mesmo é a vontade de fazer acontecer, porque não o experimento do balde de Newton com o Ensino Fundamental, como seria a interpretação desses alunos com a interpretação da Mecânica Newtoniana e Mecânica Relacional.

Registra-se que P13, da área de história, não demonstrou interesse na utilização da revista e justificou não haver conexão da sua área com a física, mas registrou que quem sabe no futuro próximo buscaria essa leitura. Dizer que não há conexão da história com a física não justifica, mas se respeita o ponto de vista de cada um, não sendo possível não verificar a influência da história, a partir do momento em que a humanidade começou a ver e analisar os fenômenos naturais de modo racional, abandonando explicações místicas ou divinas, em que as primeiras tentativas racionais de explicação da natureza vieram dos gregos antigos, que somente a história poderá trazer os resgates e os registros contados ao longo da história da humanidade.

Na sequência, P14 relatou que não existe um conhecimento comprovado cientificamente, enquanto P15 afirmou não ter interesse, por não ser sua área de atuação profissional. Contudo, é importante salientar que o conhecimento científico é a informação e o saber que parte do princípio das análises dos fatos, ou seja, para ser reconhecido como um conhecimento científico, este deve ser baseado em observações e experimentações que atestem a veracidade ou falsidade de determinada teoria e atribua interpretação à observação.

A pesquisa também abordou o enfoque de estudantes de graduação acerca da perspectiva de ensino e aprendizagem da física, e o próximo tópico enfoca a análise de registros desse público.

4.1 RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO APLICADO AOS GRADUANDOS

Para iniciar os relatos direcionados ao questionário aplicado aos 17 (dezessete) graduandos, algumas questões pontuais vieram antes das questões dissertativas, com o objetivo

de investigar se eles possuem outra graduação e qual seria o curso. Assim, foi possível identificar que 09 desses graduandos já possuem outra graduação e 08 estão cursando a primeira. Dos 09 que responderam terem outra graduação, 01 é da pedagogia, 01 de educação física, 01 de matemática, 01 de ciências contábeis, 01 de tecnologia em obras, 01 de agronomia, 01 de ciências econômicas, 01 de administração e 01 de gestão hospitalar.

Nesse sentido, verifica-se a diversidade dos cursos e se percebe que parte desse público é bem eclético e com experiências diversificadas, que acaba sendo instigante frente às devolutivas e contribuições via questionário, mas que ao mesmo tempo possuem algo em comum com os demais, são todos graduandos e estão estudando na modalidade de ensino remoto, ou seja, por meio de uso de internet.

Com a intenção de saber se esses graduandos tinham interesse em atuar como professores, recebendo de 16 a resposta SIM e apenas 01 respondeu NÃO, com um total de 09 tendo afinidade com matemática, 01 com o inglês, 02 com física, 01 com artes, 01 com história, 01 com biologia e 02 com química, ressaltando que 01 graduanda tem afinidade com a química, mas não pretende atuar como professora.

Quando se perguntou em qual disciplina eles desejariam atuar como professores, dos 17 graduandos, 05 disseram que querem atuar na matemática, 01 na regência, 02 na física, 01 na física e artes, 03 na matemática e ciências, 01 na ciência da natureza, 01 na matemática, física e química, 01 na química, 01 na biologia e matemática e com apenas 01 graduanda relatando não ter interesse em atuar na docência.

Desses registros, verifica-se que o quantitativo de graduandos com interesse na docência é de 90%, com 50% deles já graduados em áreas bem distintas. Tal resultado favorece, positivamente, a pesquisa realizada, pois ser professor possibilita ter uma projeção de que todos os dias ele poderá colaborar com a mudança de vida de alguém, fazendo parte da história de cada aluno, tendo contato com diversas realidades e podendo contribuir realizando um bom trabalho para uma melhor educação.

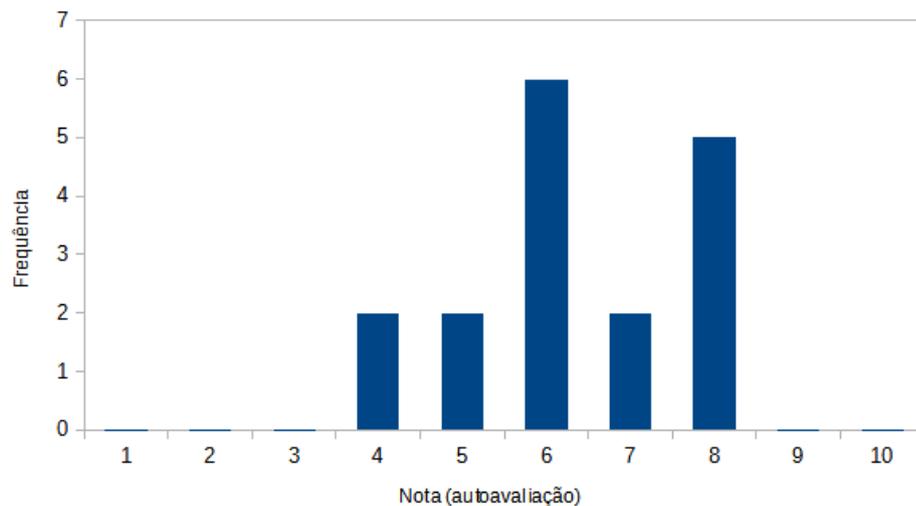
Assim, para esse público foram direcionados os questionamentos relacionados com esta pesquisa sendo a primeira questão: *você está disposto a se libertar de métodos tradicionais de interpretação dos eventos pela Mecânica Clássica?*

Para esse enfoque em entender se eles estão dispostos a se libertarem dos métodos tradicionais de interpretação dos eventos pela Mecânica Clássica, todos responderam que SIM. Acredita-se que toda essa disponibilidade advém de uma devolutiva positiva sobre as alternativas apresentadas na oficina da I Jornada Virtual do Ensino de Física. Posteriormente,

cabe a eles a decisão enquanto interlocutores em se aprofundarem nesses referenciais apresentados.

Dessa forma, para a pergunta “*qual seria uma nota sobre o seu próprio conhecimento sobre as leis de movimento de Isaac newton?*”, em que deveriam atribuir valores dentro de uma escala de 0 (zero) a 10 (dez), 2 com a nota 4 (quatro), 2 graduandos com a nota 5 (cinco), 6 graduandos se autoavaliaram com a nota 6 (seis), 2 graduandos com a nota 7 (sete) e 5 graduandos com a nota 8 (oito), do total de 17 (dezesete) graduandos.

Gráfico 8 - Autoavaliação sobre conhecimento acerca das leis de movimento de Newton



Fonte: dados da pesquisa.

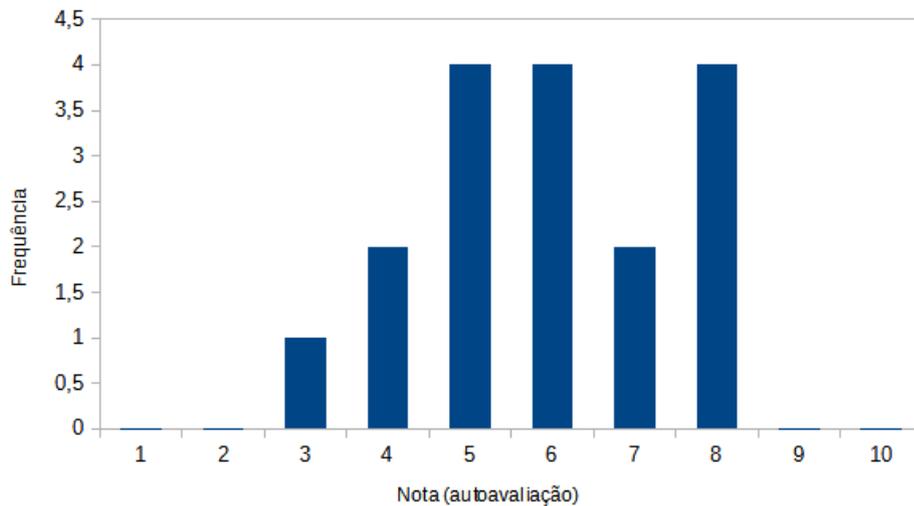
Como as leis do movimento constituem a base primária para compreensão do comportamento estático e dinâmico dos corpos materiais tanto em escala celeste quanto terrestre, percebe-se nesta devolutiva que os graduandos se autoavaliaram positivamente sobre o conhecimento que eles têm sobre as leis do movimento de Isaac Newton.

Na sequência foi perguntado se eles *conheciam alternativas às leis de Newton para representação da realidade, bem como quais seriam essas alternativas e se teriam interesse em conhecer alternativas às Leis de Newton*. Em resposta, 60% dos graduandos responderam não conhecer, 20% responderam ter algumas especulações, 10% responderam que gostariam de conhecer, enquanto os últimos 10% responderam ser a primeira lei de Newton e a inércia a alternativa para representação da realidade. Percebe-se na devolutiva desta questão que os graduandos não conhecem alternativas as leis de Newton para representação da realidade. Esse desconhecimento pode se caracterizar pela falta de oportunidade ou pela forma que havia sido

apresentado esse conceito em sua educação básica, enfatizando a Mecânica Newtoniana como a única representação para o movimento dos corpos.

Ao perguntar-lhes *qual seria a nota que eles atribuiriam a si mesmos em relação ao conhecimento e aplicação de referenciais utilizados nas inúmeras teorias sobre o movimento dos corpos?* Dos 17 graduandos que responderam ao questionário, 1 graduando se atribuiu nota 3 (três), 2 graduandos se atribuíram nota 4 (quatro), 4 graduandos registraram nota 5 (cinco), 4 graduandos aplicaram o registro para nota 6 (seis), 2 graduandos se atribuíram nota (sete) 7 e 4 graduandos registraram a nota 8 (oito).

Gráfico 9 - Autoavaliação acerca de conhecimento e aplicação de referenciais sobre teorias sobre movimento dos corpos

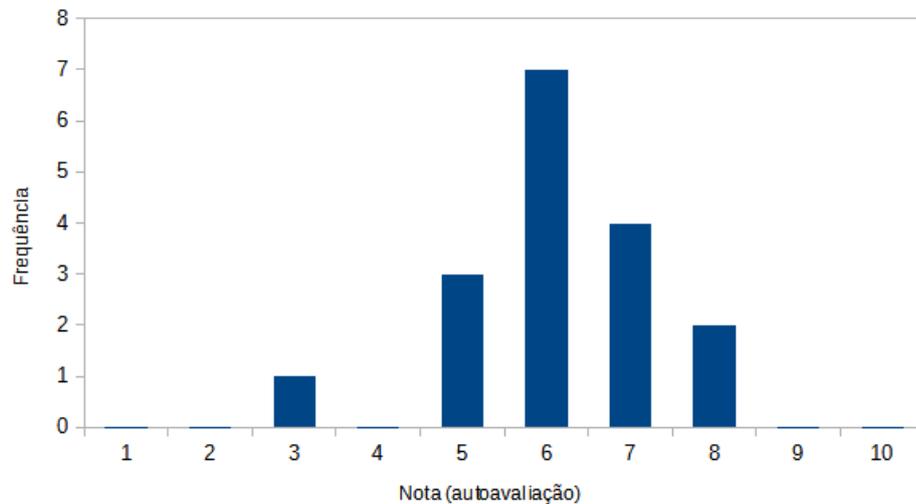


Fonte: dados da pesquisa.

Na questão supracitada houve a pretensão de fazer uma análise com a devolutiva dos participantes em apontar um caminho para uma possível integração no ensino de física com a aplicação de referenciais, considerando útil para a formação do espírito crítico das informações sobre as inúmeras teorias sobre o movimento dos corpos.

Utilizando a questão anterior como suporte que havia sido relacionado à pergunta *sobre qual seria a nota atribuída a si mesmo sobre o conhecimento de referencial na Mecânica Newtoniana e em teorias distintas da clássica Teoria Newtoniana?* 1 graduando registrou a nota 3 (três), 3 graduandos se deram nota 5 (cinco), 7 graduandos se atribuíram nota 6 (seis), 4 graduandos registram a nota 7 (sete) e 2 graduandos se deram nota 8 (oito).

Gráfico 10 - Autoavaliação acerca de conhecimento sobre Mecânica Newtoniana

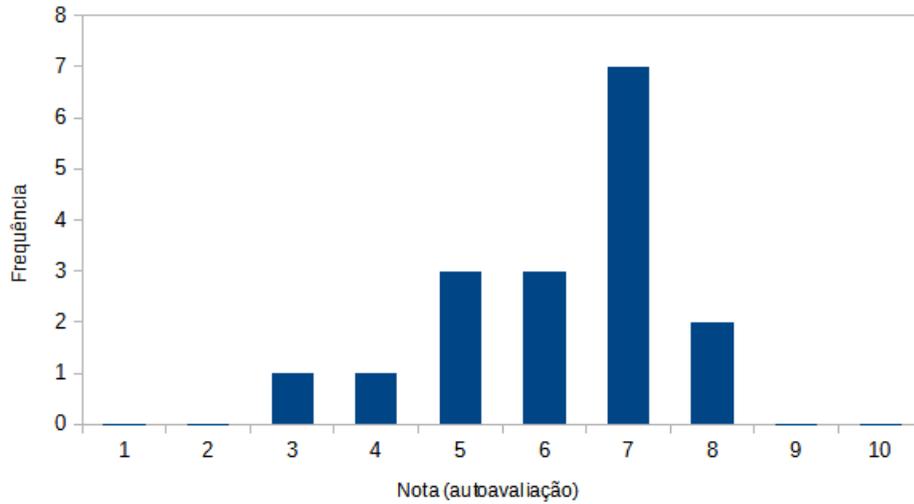


Fonte: dados da pesquisa.

Já na questão anterior, houve a necessidade de propiciar um direcionamento específico sobre o conhecimento que eles tinham sobre o referencial na Mecânica Newtoniana e em teorias distintas da clássica, com o objetivo de verificar quanto os participantes vão explorar esse assunto no contexto apresentado na *live*, bem como eles se posicionam sobre o seu ponto de vista ao questionamento proposto. Assim na devolutiva se percebe que, a avaliação que eles fazem sobre o próprio conhecimento é satisfatória, mediante as notas das suas autoavaliações citadas acima.

No questionamento direcionado ao próprio conhecimento dos graduandos, qual seria a nota que eles atribuiriam a si mesmos sobre a seguinte indagação: *podemos afirmar que o conceito de inércia está associado à interação entre os corpos e as galáxias?* Em resposta: 1 graduando registrou a nota 3 (três), 1 graduando aplicou a nota 4 (quatro), 3 graduandos deram nota 5 (cinco), 3 graduandos registraram nota 6 (seis), 7 graduandos deram nota 7 (sete) e 2 graduandos atribuíram nota 8 (oito).

Gráfico 11 - Autoavaliação sobre conceito de inércia e interação entre os corpos e galáxias

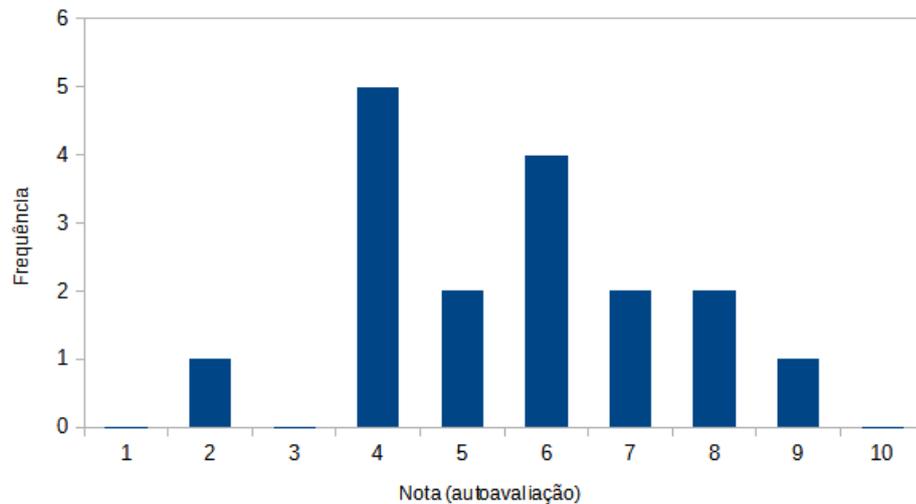


Fonte: dados da pesquisa.

Nesta questão, em especial, houve a necessidade de observar como os graduandos iriam analisar o conceito de inércia associado à interação entre corpos e galáxias, tendo em vista que para muitos há uma outra maneira de tratar o assunto perante a interpretação da Mecânica Newtoniana que é menos apta a explicar esta interação diante a proposta apresentada. Contudo, é notório que eles se autoavaliaram bem, demonstrando estarem interessados em uma nova interpretação sobre o conceito supracitado.

De uma escala de 0 (zero) a 10 (dez), qual seria a confiança dos graduandos em apresentar teorias alternativas à Teoria Newtoniana para o movimento dos corpos? Em resposta 1 graduando atribuiu a escala 2 (dois), 5 graduandos atribuíram escala 4 (quatro), 2 graduandos registraram escala 5 (cinco), 4 graduandos aplicaram a escala 6 (seis), 2 graduandos identificaram a escala 7 (sete), 2 graduandos atribuíram escala 8 (oito) e 1 graduando atribuiu escala 9 (nove).

Gráfico 12 - Confiança em apresentar teorias alternativas

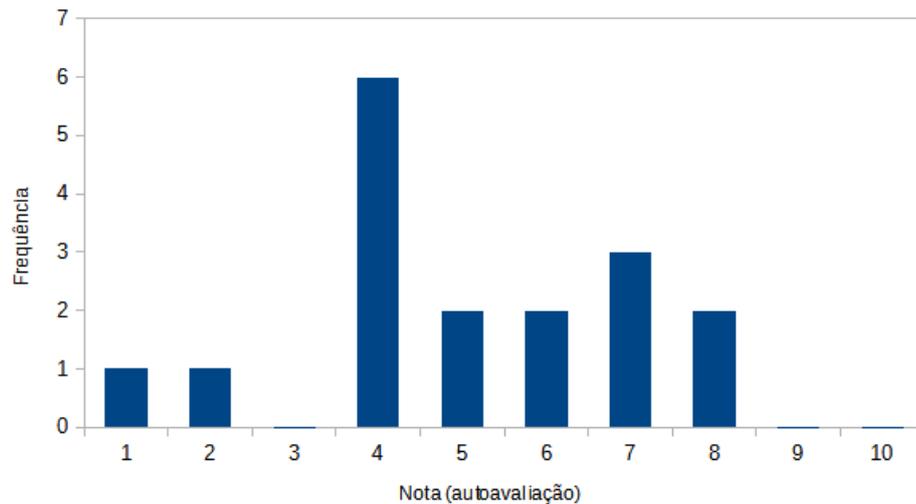


Fonte: dados da pesquisa.

Percebe-se por estas respostas que quase metade dos graduandos não se sente confiante em pesquisar quais seriam estas alternativas para apresentá-las em suas aulas. Analisando a devolutiva de cada participante, observando o grau de confiança que cada um apresentou, é compreensível que eles tenham receio em apresentar concepções alternativas, sabendo que por muito tempo suas teorias foram fundamentadas por uma única interpretação para o movimento dos corpos, enquanto, ao mesmo tempo, a outra metade dos graduandos se sentem confiantes e envolvidos em teorias alternativas à de Newton, conforme seguem suas notas de autoavaliação.

Na questão que estava direcionada à Mecânica Relacional, perguntou-se *qual seria a escala de 0 (zero) a 10 (dez), sobre o grau de confiança em apresentar a Mecânica Relacional para o movimento dos corpos aos seus alunos*. Na devolutiva desta questão se percebe que a maioria dos graduandos não está confiante em relação a essa nova mecânica, em que 1 se colocou na escala 1(um), 1 com escala 2 (dois), 6 na escala 4 (quatro), 2 na escala 5 (cinco), 2 na escala 6 (seis), 3 na escala 7 (sete) e 2 na escala 8 (oito).

Gráfico 13 - Grau de confiança acerca de apresentar a Mecânica Relacional

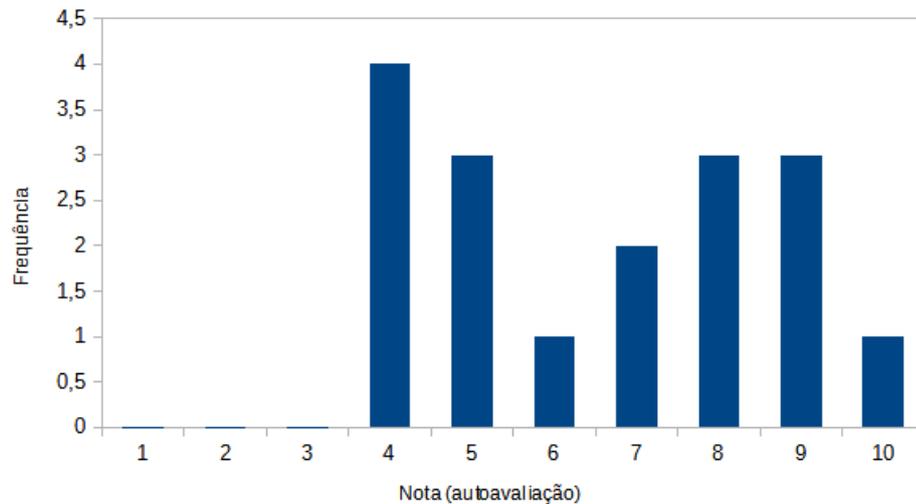


Fonte: dados da pesquisa.

Com o objetivo de apresentar uma mecânica baseada em grandezas relativas entre corpos e materiais, bem como apresentar a formulação de Mach, por intermédio de André Assis, fez-se necessário saber dos participantes se eles estavam dispostos a apresentar aos seus alunos uma proposta ousada e intelectualmente ambiciosa, em que seu autor oferece sua formulação como um novo paradigma que é alternativa à Mecânica Clássica. Contudo, percebe-se na devolutiva que, dos dezessete participantes, uma parte demonstrou confiança em apresentar a Mecânica Relacional aos seus alunos e que, mesmo sendo um grupo pequeno já é o começo para a possibilidade de acompanhar as linhas gerais de argumentação sobre essa nova interpretação para o movimento dos corpos.

Em relação à experiência do balde de Newton, foi perguntado para eles também *qual seria o grau de confiança de 0 (zero) a 10 (dez) em apresentar a referida experiência em suas aulas?* Analisando as devolutivas dos graduandos se percebe que mais da metade dos que responderam esta questão, em especial, se sentem confiantes em apresentar o experimento. Assim, 4 responderam terem grau 4 (quatro) de confiança, 3 expressaram terem grau 5 (cinco) de confiança, 1 tem grau 6 (seis) de confiança, 2 registraram grau 7 (sete) de confiança, 3 têm grau 8 (oito) de confiança, 3 marcaram grau 9 (nove) de confiança e 1 tem grau 10 (dez) de confiança.

Gráfico 14 - Grau de confiança em apresentar a experiência do balde de Newton



Fonte: dados da pesquisa.

Como o objetivo de apresentar a experiência do balde de Newton foi para trazer sua interpretação sob o ponto de vista da Mecânica Newtoniana e da Mecânica Relacional, notou-se por intermédio das devolutivas que mais da metade dos participantes demonstra interesse em utilizá-la, em suas aulas, projetando futuramente um debate sobre os conceitos de espaço e tempo absolutos de Newton.

Dando prosseguimento ao processo de pesquisa e tendo em vista o constante processo de uso da tecnologia, especialmente em se tratando de uma pesquisa que também se realizou por meio de um contato tecnológico, foi direcionado para eles o seguinte questionamento: *com a tendência tecnológica da sociedade, você julga ser importante resgatar os Clássicos, as origens para termos uma base sólida?*

Para esse questionamento houve resposta unânime positiva. Especialmente, diante do fato de que a oficina ocorreu intermediada por momentos de resgate histórico, bem como a história dos pensadores, a trajetória histórica de Isaac Newton e seus contemporâneos, com alguns que vieram antes e depois de Newton.

Nesse sentido, o questionamento direcionado aos graduandos implicou em entender se eles já tinham ouvido falar sobre Ernest Mach, Karl Emil Maximilian Weber, Gottfried Wilhelm Leibniz e George Berkeley, pensadores que tiveram destaque na oficina.

Sobre esse enfoque, foi verificado que dez graduandos responderam SIM e sete responderam NÃO. Percebe-se, nesta devolutiva, que boa parte já tinha ouvido falar desses cientistas, sendo um dos objetivos destacá-los, pelo fato do reconhecimento e da importância

que eles tiveram para a história, sendo preciso resgatar o perfil desses homens que tanto contribuíram com a ciência e que hoje são esquecidos por parte da humanidade.

Complementando a questão anterior se perguntou aos graduandos se *perante a tendência tecnológica da sociedade, eles julgam importante resgatar os clássicos para se ter uma base sólida*. Em resposta, todos registraram que SIM e que estão motivados em aprofundar no contexto histórico vivido por Isaac Newton e contemporâneos. Todos justificaram suas respostas, e por sinal contribuíram muito em suas devolutivas.

Dois graduandos¹⁷: G1 e G2, relataram que se necessita da base para entender o futuro e que é muito importante saber como tudo começou, para depois seguir o aprimoramento. Tal devolutiva se faz necessária frente a esse resgate, sendo importante destacar que nos dias atuais a tecnologia favorece muito nestas pesquisas. O acesso é imediato, o que se precisa é utilizar adequadamente a ferramenta de pesquisa e busca de informações.

Certo graduando, G3, acredita que trazer os clássicos para a atualidade desperta o interesse nos alunos. Muitas vezes, o professor chega à sala e despeja seus conteúdos sem nenhum embasamento e o resultado são alunos cada vez mais desinteressados, pois não veem significado nas aulas. Não que o resgate dos clássicos vá resolver o problema, mas essa situação pode minimizar e pode ser atrativa para alguns. Quando um professor planeja sua aula e pensa em sua introdução com um resgate desses clássicos, ele passa a ressignificar sua prática docente.

A graduanda G4 relata que só se pode falar de um assunto se souber a sua origem, ou seja, através das histórias passadas que se pode ter avanços futuros. Percebe-se que é nas antigas questões que o professor se depara com os novos desafios, a devolutiva da referida graduanda remete justamente essa comparação. Com a aproximação dos clássicos se pode ampliar o conhecimento, além de favorecer condições necessárias para uma formação qualificada.

O graduando G5 disse que os clássicos permitem remeter aos conceitos, enquanto o colega complementa que os livros de hoje em dia são uma versão sintética das teorias do passado com tudo pronto, sendo relevante ter os originais para entender realmente como esses desenvolviam seus trabalhos com base na realidade da época.

As duas devolutivas destes graduandos são complementos significativas, com suas respostas se percebe o quão notório é o compromisso com a construção do conhecimento, fazendo uma leitura de mundo com propriedade, enfatizando que os livros didáticos estão sendo

¹⁷ Da mesma forma que se fez com os professores, os graduandos integrantes desta pesquisa receberam o registro de identificação em uso da letra G maiúscula, seguida de número 1 a 17, para referenciar os participantes e resguardar as identidades desses.

insuficientes. É por isso que se destaca a tendência tecnológica como ferramenta que irá auxiliar nas leituras e pesquisas complementares de resgate aos clássicos.

G6 disse que uma base sólida não está na tendência tecnológica, mas sim na evolução do pensamento. Acredita-se que a tendência tecnológica não seja substituída pela evolução do pensamento, mas para isso o sujeito tem que buscar conhecimento, ou seja, os caminhos necessários que o façam evoluir frente aos seus estudos. Destaca-se que o foco desta questão, em especial, é poder utilizar os recursos tecnológicos para buscar as leituras dos clássicos e alcançar uma base sólida, pelo fato da nova sociedade não comprar livros, mas buscar os acervos virtuais.

Alguns, como G7, G8 e G9, relataram que é a partir da base que se terá a ideia de cada especialidade, e se aprofundar no estudo direcionado para a origem em saber mais da atualidade, ou seja, sem entender os clássicos não se consegue progredir sobre as novas interpretações e visão de Mundo.

Nesse enfoque, entende-se que para a interpretação desta questão, alguns deram esta devolutiva como resposta e reconhecem que é importante ter uma boa base teórica e que, tanto faz se estas leituras são feitas através dos livros ou de forma virtual, o que importa é o resgate e que a tendência tecnológica vai influenciar muitos em suas pesquisas.

Dando sequência, o próximo questionamento direcionado aos graduandos envolvidos nesta pesquisa foi: *com a oficina de hoje, você se sentiu motivado para aprofundar estudos no contexto histórico vivido por Newton e contemporâneos?*

Os graduandos haviam participado da oficina denominada de I Jornada Virtual do Ensino de Física, e todos de forma unânime responderam que se encontram motivados para este tipo de estudo, justificando que é gratificante ao corpo cansado, pois a alma rejuvenesce entre as possibilidades de encantamento neste universo carente de novas práticas do pensar. Relataram que como é interessante aprender como tudo começou, como foi a história, as descobertas e a importância de cada Lei criada.

A graduanda G10 afirmou que sempre gostou da parte histórica e filosófica da física e expôs que continuaria se aprofundando nestes estudos, enquanto outra relatou que Newton é um ícone, e que se deve de fato aprofundar e conhecer sua história. Quando se delineou em trazer o experimento do balde de Newton e a sua interpretação relacionada com a Mecânica Newtoniana e Mecânica Relacional, principalmente, pelo fato deste experimento não ser tão conhecido no universo acadêmico.

Dessa forma, a exposição que se desenvolveu nesta pesquisa de forma mais detalhada sobre a trajetória histórica acerca de estudiosos que contemplariam o esclarecimento sobre essas

Mecânicas propostas. Por isso, houve a busca por várias referências, fatos novos, engraçados, instigantes e relevantes, pois se imaginava que muitos professores de física já os ensinam no Ensino Médio.

O graduando G11 enfatizou que o contexto ajuda a entender como eles pensavam diante das situações e que não viam o mundo como uma equação pronta, observavam o meio a sua volta para poder aprofundar nos estudos e tirar conclusões sobre o assunto, que é muito bom conhecer a fundo as ideias e os porquês. Mediante a devolutiva desse graduando se percebe que a oficina da I Jornada virtual do Ensino de Física o fez refletir como a ciência caminha, a longos passos, com o desenvolvimento de modelos científicos voltados para a observação, a descrição e a interpretação dos objetos teóricos e empíricos do campo do conhecimento.

O G4 e G6 disseram que tiveram conhecimento de fatos novos e que até aquele momento não tinham conhecimento do contexto histórico vivido por Isaac Newton, bem como contemporâneos que nunca ouviram falar. Sobre a devolutiva dessa resposta, ressalta-se que já se imaginava, principalmente, por se tratar de um tema que é pouco explorado no Universo acadêmico e até mesmo pela escola de Ensino Básico.

No entanto, esse entendimento e interesse sobre estudos do contexto histórico de pensadores se verifica como uma devolutiva positiva, pois todos demonstraram interesse e disposição em aprender, apesar de saber que o que havia sido apresentado na oficina existe, e há muito tempo.

Em uma das respostas, G12 destacou que foi uma introdução geral, mas muito bem explanada, e que despertou muita curiosidade sobre Weber, principalmente. Ao ler essa resposta se percebe que o referido graduando demonstrou interesse pela explanação e que é muito satisfatório saber que o mesmo ficou instigado com o que foi proposto sobre este físico da Alemanha, principalmente, porque Weber tem uma vinculação muito forte com a história da ciência.

Pode-se rever os enfoques e repensar os conteúdos, uma vez que na oficina foi pouco tratado sobre Weber, nessa se informa que atualmente suas teorias estão esquecidas. Quem sabe esse aluno possa futuramente fazer esse resgate sobre as obras de Weber.

Ao ler a devolutiva do G12 se percebe que a oficina o fez refletir para melhorar seus conhecimentos, e poder transmitir a história real e verdadeira sobre esses gênios da humanidade e que, futuramente, venha atuar como professor e utilizar desse conhecimento em suas práticas diárias.

Outros graduandos, como G13 e G14, relataram que se deve dar continuidade em pesquisas e novas conquistas de acordo com a época em que se vive, e que hoje se tem a

tecnologia bastante avançada para auxiliar, e que esperam ter outras oficinas como a que havia sido desenvolvida.

Ao refletir sobre esta resposta se identifica que esse encontro virtual abriu as portas para outros métodos, outros caminhos nos quais se possam compartilhar conhecimentos. Essa é uma nova realidade e que irá necessitar, cada vez mais, da tecnologia para esse compartilhamento de significados. O único problema é que nem todos têm os recursos tecnológicos necessários para fazerem parte.

O graduando G15 disse que a Oficina ofertada lhe proporcionou uma visão mais detalhada da história para entender a Mecânica, despertando o conhecimento. Muitas vezes, o conhecimento é tão limitado que se acaba ficando acomodado, e não são procuradas alternativas para ampliá-lo. Algo tão simples e tão acessível como o aprofundamento do contexto histórico, por intermédio de outras referências como as que foram disponibilizadas nesta oficina podem despertar a compreensão dessa Mecânica que para muitos está limitada nos livros didáticos.

Dentro desse enfoque, a pesquisa continuou a levantar dados com os graduandos realizando as seguintes perguntas: *a ideia de movimento que se tem hoje é aceitável? Você conhece alternativas para as Leis de Newton para representação da realidade?*

Dando continuidade com as questões direcionadas à Mecânica, ao responderem sobre a ideia de movimento que se tem atualmente ser aceitável, dezesseis graduandos relataram que SIM e apenas um respondeu NÃO.

Sobre o questionamento se eles conhecem alternativas às Leis de Newton para a representação da realidade, bem como suas justificativas se percebe que 03 graduandos responderam que conhecem e deram exemplos, 01 graduanda disse que são especulações e 13 relataram não conhecerem, mas demonstraram interesse, e apenas 01 graduando justificou, mas que necessitaria conhecer as leis para entender suas alternativas.

Nesse aspecto, o questionamento seguinte implica em: *você seria motivado pela leitura de uma revista denominada “Pelos caminhos da Mecânica Relacional: atividades para sala de aula” resultado desta pesquisa como produto educacional, sendo possível em utilização posterior em aulas de mecânica?*

Com esse questionamento se fez exposição de que esta pesquisa desenvolverá um produto educacional em construção de uma revista com atividades e conteúdo de mecânica denominada “Pelos Caminhos da Mecânica Relacional”, cujo enfoque de utilização se direciona para a prática docente em aulas de física ao tratar de conteúdo da mecânica, e foram obtidas dezesseis respostas de graduandos com interesse neste material ao responderem que SIM e um graduando respondendo NÃO, conforme suas respectivas justificativas.

De forma bem expressiva, G10 respondeu como justificativa que “porque não conhecer rivais ou fãs de Newton neste mundo carente de releituras”. Com essa devolutiva se percebe que ela se sentiu motivada pela trajetória histórica de Isaac Newton e Contemporâneos, principalmente, porque a oficina mostrou quem contribuiu com Newton e quem o prejudicou frente aos seus trabalhos e publicações como acontece na comunidade científica até os dias atuais.

O graduando G16 disse que toda forma de aprendizado traz benefícios e pode ser passada para os alunos. Aqui ele demonstra estar acessível ao conteúdo exposto nesta revista, que é a interpretação do experimento do balde de Newton pela Mecânica Newtoniana e pela Mecânica Relacional, oportunizando sua utilização quando se tornar professor. Assim, futuramente, se verá uma porcentagem maior de alunos reconhecendo este experimento importante.

A procura por aulas diferenciadas, G15 ressaltou que, sem dúvidas, ele utilizaria, pois acredita que conteúdos novos e diferentes são importantes, uma vez que as aulas diferenciadas geram seus efeitos na aprendizagem, sendo isso verdade, visto que a aprendizagem depende de muitos fatores, como interesse, criatividade e motivação, tanto dos alunos como dos professores. E é justamente por conta dessa motivação que se fez necessário a criação desta revista.

Ademais, certo graduando, G8 demonstrou interesse na utilização da revista e ressaltou que por meio das animações o material se torna mais didático e acelera a aprendizagem. A referida afirmação destaca as animações/desenhos como suporte didático, que vai realmente ao encontro do que é proposto na revista, o universo da mecânica.

Três dos graduandos, G9, G10 e G15 disseram que essa revista seria importante no planejamento, ampliando os conteúdos, pois as revistas trazem exemplos variados ajudando a fazer uma aula mais didática e dinâmica. O ponto de vista desses alunos remete a pensar que a revista será um importante atrativo para um conteúdo extra para as aulas.

Somado ao ponto de vista dos demais, dois graduandos, G4 e G5, responderam dizendo que quando a leitura é interessante há relevância em querer mostrar para os outros. Com essa resposta se percebe a importância da revista, sendo um veículo em potencial para a expansão do conhecimento ao universo da ciência, com a imersão do experimento do balde de Newton como proposta de compartilhamento.

O graduando G11 disse que a revista vai ajudá-lo a melhorar seus conhecimentos, enquanto outro complementa reforçando que qualquer conhecimento é de extrema importância, principalmente, para aprofundar como professores e educadores e é, por isso, que a ideia de

revista agrada. Percebe-se na devolutiva desses graduandos que a utilização da revista será bem produtiva, assim sua principal proposta envolve o estudo do movimento dos corpos para que a sua evolução temporal venha ter mais significado para a prática docente.

Certa graduanda, G2 disse que se sentia motivada para ler esta revista, justamente para enriquecer a formação como futura professora e com a oferta da oficina relatou que foi possível obter entendimento de que a Mecânica Relacional é um estudo contemporâneo, que traz um novo conceito que é baseado em todos os estudos existentes. Reforçou que a oficina conseguiu trazer uma nova compreensão do estudo da mecânica, conseguindo representar, matematicamente e quantitativamente, as ideias dos estudos clássicos como Newton, Weber, entre outros, fazendo-a engrenar seus estudos para uma nova visão com a Mecânica Relacional, comparando-a com os estudos já existentes até os dias atuais.

Para G12 e G15, a Mecânica Relacional se apresenta contra as Teorias da Relatividade Restrita e Geral, e isso os desafia a buscar a leitura, visto que as revistas despertam interesse e este pode ser um bom caminho. Durante a apresentação da obra de André Koch Torres de Assis sobre o que é a Mecânica Relacional havia sido comentado que o autor André é contra as teorias de Albert Einstein, sem aprofundamentos, mas com direcionamentos à leitura, visto que o autor supracitado disponibiliza dois capítulos do seu livro para explicar os motivos pelos quais esse aspecto é contrário.

Como respostas desta questão, dos 17 graduandos apenas um, G17 relatou não ter interesse na utilização da revista, relatando que existem outros recursos além dessa. Com a negativa deste aluno em utilização da revista, se entende que isso não significa que ele não tenha ficado interessado pelo conteúdo abordado na oficina, e que pode então buscar outros recursos para aprofundar suas pesquisas.

Assim, o importante é estar aberto para o compartilhamento, buscando sempre uma construção efetiva frente o universo da ciência.

Dando continuidade aos estudos foi feito o seguinte questionamento aos graduandos: *a ciência tem a responsabilidade de apresentar uma única verdade, ou seja, há apenas uma visão científica do Mundo? Justifique sua resposta.*

Dessa forma, como resposta para a questão sobre entender se a ciência tem a responsabilidade em apresentar uma única verdade, ou seja, se há apenas uma visão de mundo científica, 15 responderam que NÃO e 02 responderam que SIM, conforme seguem suas respectivas justificativas.

Na devolutiva da questão supracitada, dois graduandos, G1 e G10 justificaram suas respostas dizendo que novas descobertas são feitas a todo momento, não tendo uma única

verdade. É importante ressaltar que para alguns o objetivo da ciência não é produzir verdades indiscutíveis, mas sim discutíveis, em que se precisa dialogar sobre ciências, expor as opiniões, buscar mais acervos bibliográficos para se ter propriedade frente ao que se acredita.

Posteriormente, uma graduanda, identificada como G2, enfatiza o seu não, justificando que a ciência não será sempre verdadeira, mostrando somente o correto. Ressalta que se têm vários cientistas, vários pensadores que podem ter opiniões divergentes. Ao explicitar os cientistas e os pensadores, cabe destacar que ainda existe, atualmente, um grupo significativo de pessoas com uma concepção ingênua do que seja verdade científica, mas por outro lado, pode existir uma ortodoxia científica fechada a novos métodos e ideias como afirmou o físico Paul Feyerabend, em seu livro “Contra o Método”¹⁸.

O não de outro graduando, G17, é justificado pela mudança constante da ciência, ou seja, hoje se tem uma teoria, amanhã já é outra, e é por isso que ele salienta que se devem acompanhar os avanços tecnológicos. Diante da referida resposta, percebe-se que as pessoas já não esperam da ciência verdades definitivas, passando da confiança total à dúvida absoluta, visto que as ciências são meios de produção de verdade no mundo.

Assim, é preciso refletir para não sermos ingênuo nestes dois sentidos e ter confiança nas instituições, respeitando a comunidade científica, bem como analisar se existem resultados certos e seguros e que a ciência é muito mais poderosa do que dizem seus críticos e muito mais frágil do que pensam os ingênuos.

A graduanda G2 realça seu “não”, esclarecendo que para ela a ciência tem o compromisso de aplicar, fundamentalmente, suas experiências no intuito de explicar seus fenômenos. Para contribuir com esta resposta, falará primeiro do compromisso da ciência com a teoria e o quanto essa está alicerçada por um conjunto de princípios, ou conjunto de tentativas de um número limitado de fenômenos, pois a ciência cuida em reunir uma bagagem de conceitos e princípios, racionalmente comprovados para serem, posteriormente, utilizados em pesquisas.

Ao responder essa questão, o graduando G7 disse que vários cientistas contribuíram com a ciência, apesar de alguns não serem mencionados nos livros e que cabe aos professores e cientistas atribuírem créditos a essas pessoas para que não caiam no campo do esquecimento. No que tange à visão científica de mundo, muitos tiveram contribuições incríveis, mas seus nomes ficaram perdidos na história, já outro grande cientista com sua paixão exagerada pelo

¹⁸ FEYERABEND, P. **Contra o Método**. Trad. Cezar A. Mortari. São Paulo. EDUNESP, 2007.

conhecimento permitiu o desenvolvimento e evolução da ciência, mas isso não significa que exista uma única verdade e sim contribuições com direcionamentos futuros frente a essa evolução científica.

A contribuição de outro graduando G1, em sua resposta, reforça que a ciência é uma constante descoberta, e conforme vão conhecendo fatos novos vão emergindo as alterações. Nesse sentido, a ciência busca compreender verdades ou leis naturais para explicar o funcionamento das coisas e do Universo em geral, e é por isso que os cientistas fazem observações, verificações, medições, análises e classificações, procurando entender os fatos para adequá-los à realidade atual.

Um grupo de graduandos G08, G11 e G13 foram bem breves em suas respostas, nesta questão eles disseram que a ciência é ampla para o conhecimento, que este é a causa das causas, que tem volatilidade nos tempos e que essas mudam conforme o mundo muda. Mesmo sendo devolutivas mais pontuais, esses graduandos utilizam suas justificativas para mostrar que a ciência não tem apenas uma única verdade e mais que essa não tem uma única visão de mundo científica.

Prosseguindo com as devolutivas via questionário, outro graduando, G4 contribui relatando que a ciência busca a interação sobre a atualidade, e diz que existe uma visão dualista do certo ou errado, que simplesmente descartar a matriz da força científica que é a contestação.

Ao destacar a força de contestação na resposta supracitada cabe enfatizar que essa também se manifesta na postura dos cientistas, visto que alguns fazem certa associação indireta sobre os eventos e sua relação com a ciência e os cientistas.

Todos os dias, os veículos de comunicação mostram os movimentos de contestação, de revolta diante de autoridades estabelecidas, de clamores por mudanças e por autodeterminação. E em muitos casos tem a ver com ciência e com a postura dos cientistas, ressaltando que é fundamental questionar as verdades das autoridades, mas com embasamento, buscando falhas que possam ser testadas. Assim, o papel dos cientistas é, primordialmente, o de contestar, mas sempre com educação, e se deixa sempre espaço para as dúvidas, como disse o físico Richard Feynman¹⁹, em um discurso na Academia de Ciências dos EUA, em 1955.

Na sequência, uma graduanda, classificada como G6, justifica sua resposta sinalizando que a ciência não tem por objetivo provar a verdade, mas sim instigar, provocar questionamentos sobre a verdade. Contudo, é importante saber que a ciência não representa um

¹⁹ Informação retirada do site: <https://jornal.usp.br/atualidades/contestacao-presente-em-1968-tambem-se-manifesta-na-postura-dos-cientistas/>

conjunto acabado de conhecimento, com receitas definitivas para lidar com os problemas do mundo. Para muitos, uma das contribuições mais importantes da ciência para a sociedade seja o valor dos questionamentos críticos que se deve manter sobre a verdade.

Seguindo com as devolutivas, duas graduandas, G7 e G8 responderam que não acreditam que a ciência tenha uma única verdade e muito menos apenas uma visão de mundo, ambas acreditam que a ciência está em constante evolução, disseram que existem povos diversos, com ideias que divergem uns dos outros e concluem dizendo que não existe verdade. Com a referida devolutiva é importante acrescentar que a gênese científica se relaciona com manifestações do dia a dia, bem como sendo modificada e distinguida em suas múltiplas interpretações, como essas se destacam quando as ideias divergem uns dos outros especificamente.

O graduando G13 disse que a ciência não é uma verdade absoluta, ele expõe que se está sempre descobrindo algo novo através dessa, que se buscam respostas discutíveis e não indiscutíveis. Como os demais, esse graduando afirma que a ciência está sempre em renovação e evolução. Acrescenta que a visão científica procura desenvolver acontecimentos naturais através de métodos científicos, por ser direcionada para a razão, pelo empirismo, pela investigação e finaliza enfatizando que, no entanto, todo método científico leva a ter evolução científica.

Para finalizar, dos 17 graduandos apenas um deles, G16 respondeu que a ciência tem a responsabilidade de apresentar uma única verdade, justificando que é através do conhecimento, dos métodos científicos e dos fenômenos ocorridos que a ciência apresenta essa visão unitária de mundo. Ao destacar o conceito de visão se irá remeter, por exemplo, a ver, a conhecer, a interpretar o mundo a qualquer ambiente do Planeta Terra.

Assim, visão de mundo seria o modo de ver, de conhecer e interpretá-lo. E com a devolutiva supracitada pelo graduando, bem como a importância de sua opinião se entende perfeitamente o posicionamento, visto que isso varia de pessoa para pessoa, com seu tipo de pensamento perante a causa e efeito na relação homem e natureza.

4.2 REGISTROS DAS CONVERSAS POR MEIO DE APLICATIVO COM OS PROFESSORES

Como o uso pedagógico de conversas por meio de aplicativos ou de salas de bate-papo on-line auxilia a investigar novas dimensões, como instrumento de construção de

conhecimento, de pesquisa, de troca de informação e comunicação entre sujeitos que buscam aprender, fez-se necessário o registro destas trocas, nas quais os professores tiveram a oportunidade de fazer indagações, elaborando questionamentos e expondo as respectivas contribuições.

Mediante o exposto, é importante salientar que o objetivo em utilizar os registros dos participantes via conversas por meio de aplicativo, popularmente conhecido por “chat”, foi para fazer que eles interagissem com os outros participantes por meio de comunicação escrita e oral, utilizando códigos peculiares do ambiente virtual, do qual foi feita uma análise de seus registros frente a proposta apresentada conforme está descrito posteriormente.

Os principais registros destas conversas foram extraídos por intermédio de uma sala virtual do Google Meet e do link disponibilizado pelo YouTube²⁰ na página do Programa de Pós-Graduação de Ensino de Ciências Naturais, conforme segue detalhadamente.

Na terça-feira, do dia 08 dezembro de 2020 às 18h00min, com a duração de 02h03min, os professores participaram da I Jornada²¹ Virtual do Ensino de Física com transmissão via YouTube²² e disponibilizado a todos por meio de grupo de WhatsApp. Os professores foram acessando gradativamente, com os cordiais cumprimentos como é de praxe, e aos poucos foram deixando seus relatos, conforme a Oficina se desenvolvia.

Inicialmente, foi solicitado que os professores refletissem profundamente sobre a proposta, fazendo suas perguntas, manifestando sua postura, bem como suas contribuições, para que fosse possível dialogar em alto nível sobre ciência. Na oficina participaram professores do Estado de Mato Grosso, Rio de Janeiro, Rondônia, Pará e Goiás. E as informações de que eles eram de outros Estados foram disponibilizadas por eles, por intermédio do contato on-line.

A dinâmica de participação nesta oficina ocorreu via conversa de aplicativo de internet com áudio, visto que eles abriam seus microfones para poderem participar. O controle deste aplicativo era feito pelos colegas de oficina, que estavam nos bastidores.

Como a parte introdutória da oficina abordou a vida e obra de Isaac Newton elencada pela epistemologia de Paul Feyerabend, logo os participantes começaram a abrir seus microfones para as contribuições. Ao relatar sobre a não aceitação de Newton na Royal Society e utilizar Paul Feyerabend para exemplificar, P1 disse que até hoje a comunidade científica se

²⁰ Disponível em <https://fisica.ufmt.br/pgecn/index.php/component/content/?view=featured>

²¹ Contato disponibilizado na página

https://drive.google.com/file/d/1qFVHWnImcg2_y7SzDt8OIPeYJEUcrXP1/view?usp=sharing,

²² Acesso pelo <https://youtu.be/SD-3SrY3uEQ>

utiliza de grupos fechados para dizer que fazem ciência, e impedem que outros possam ter suas contribuições.

Utilizando a devolutiva citada por P1, cabe destacar que as oposições formuladas em termos de diferenças conceituais e métodos determinados por lutas pelo domínio disciplinar ou intelectual com suas configurações específicas e estratégias particulares que produzem, podem dar conta das suas posições e do caminho que sugeriu seguir. No entanto, dizer isto não significa que se deve reduzir os debates intelectuais à mera condição de aparentes confrontos de poder entre escolas, entre disciplinas ou entre tradições nacionais, nem pensar que tal análise permite a quem a faz, escapar das determinações do campo em que se encontra. Trata-se de outra coisa, que é o dever de pensar as divergências surgidas no nosso mundo acadêmico ou as evoluções das disciplinas que são as nossas, situando-as no espaço social que é seu.

Com o objetivo de discorrer sobre a história de Isaac Newton, foram apresentados alguns fatos curiosos, como a história da maçã não sendo verdadeira, a sua crença em Deus e suas previsões para o fim do mundo e da crucificação de Jesus Cristo, ou seja, Newton estudava a Bíblia procurando os seus significados ocultos. Também foi exposto sobre a história de que houve negligência quando precisou de dados astronômicos de Flamsteed para escrever o *Principia*, sem lhe proporcionar nenhum reconhecimento²³.

Mediante o exposto, P2 abriu seu áudio e disse que não fazia ideia de que Newton quisesse prever a data para fim do mundo, outra contribuiu com risos dizendo: “Isaac Newton e sua maçã narrativa”, e acrescenta relatando que Newton foi trapaceiro, aproveitando das informações de quem tinha dedicado toda sua vida a um estudo, e não mereceu nenhuma citação em sua obra, finalizou acrescentando que, infelizmente, isso é muito natural na academia, essa briga por ideias e questões pessoais.

Na devolutiva da questão supracitada cabe destacar que, por outro lado, esta história deve ser entendida como o estudo dos processos com os quais se constrói um sentido. Qualquer reflexão sobre os desvios ou afrontamentos do que havia sido apresentado supõe, necessariamente, a identificação da sua posição em seu campo de estudo com a verificação dos legados interiorizados e da postura partilhada que constituiu o cerne da sua especificidade.

Ao focar que o tempo é absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e da sua própria natureza, fluindo uniformemente sem relação com qualquer coisa externa, alguns dos participantes abriram seus microfones para suas respectivas contribuições.

²³ Informações retiradas de registros da internet em história dos pensadores. Disponível em: <https://brasile scola.uol.com.br/fisica/um-fisico-chamado-isaac-newton.htm> Acesso em out. 2021.

Assim, P3 disse que nunca havia parado para pensar no tanto que Newton era sistemático e metódico, bem como é interessante pensar profundamente sobre o tempo. Ela acredita que Newton quis dizer que nenhuma intempérie vai interferir em relação a esse tempo, ou seja, esse irá acontecer de forma uniforme e igual. E que nenhum fator vai impedir qualquer ocorrência, visto que o tempo não volta, passou acabou.

Essas questões sobre o tempo têm ocupado as melhores mentes em todos os tempos, analisada pela ciência e, em particular, pela física, sendo o tempo básico e fundamental para o universo, ou como dizia Kant, o tempo é uma condição subjetiva necessária por causa da natureza da mente humana. No entanto, coube a Isaac Newton criar a primeira grande teoria unificadora da física, em que a ideia de lei natural foi aplicada em toda sua amplitude, em que a natureza é composta de partículas indestrutíveis que se movem de acordo com leis matemáticas rigorosas, no espaço e no tempo absolutos.

Mediante a devolutiva de P3, é importante ressaltar que, posteriormente, foram abordadas como propostas questões para reflexões, os instigando sobre o porquê de o tempo fluir uniformemente, como dizia Newton, levando-os a imaginar se o tempo não estava acelerando ou indo mais devagar naquele instante da oficina, com objetivo de fazer outras comparações para sair do trivial.

Ao longo do evento, P5 informou ter certas dúvidas sobre a força, o peso, a gravidade e o tempo. Sendo assim, prosseguiu relatando que se o tempo é linear e flui de modo único, seguido pela matemática, uma semente de tomate com apenas 1g teria, depois de alguns dias, 200g, e, a partir desse enfoque, veio a argumentação: “De onde que vem essa força, esse peso sobre a composição e a deformidade na decomposição dos corpos”? E completou dizendo: “Se a Terra pesa por exemplo 10^{24} kg com milhões de tomates e pessoas nascendo a todo momento, então, a Terra vai aumentar o peso, e esse peso que aumenta parte dessa transformação em kg, não faria a Terra entrar em uma outra órbita dentro de um buraco que iria caindo e sua gravidade não seria alterada”?

Este mesmo prossegue sugerindo como medição do tempo, a transformação da fotossíntese das plantas como outra cronologia.

Em tempo, complementa fazendo outra analogia com feijões, supondo que tem 10 feijões e que pesam a mesma quantidade em gramas e são colocados em 10 g de água. Posteriormente, pergunta sobre a quantidade de dias necessários para que esses feijões cheguem

²⁴ O peso é a força com que um corpo é atraído pela Terra. Massa é uma medida direta da oposição que um corpo oferece à mudança em seu estado de movimento. Informação disponível em <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/qual-relacao-entre-peso-massa.htm> Acesso em out 2021.

em 10 cm, por exemplo. A partir dessa premissa, novamente exemplifica outra cronologia do tempo e, finalmente, encerra dizendo que naquele momento, por exemplo, a Terra estaria pesando 10^{25} toneladas e em 5 dias passaria para 15 toneladas, fazendo refletir se a Terra estaria em outra dimensão.

Claro que se destaca a escala com valores fictícios e encerra dizendo que esta é a maneira pela qual estava refletindo como seria a transformação da gravidade em relação ao tempo, com apenas sua colocação.

Em devolutiva às contribuições supracitadas do professor em destaque, é importante enfatizar que se vive em um sistema no qual a Terra é constituída de matéria que envolve os corpos. E que vão se formando, por exemplo, da semente com a absorção da matéria da própria Terra, da água, do ar e, assim por diante, bem como os seres humanos. E que a matéria bruta que se tem na Terra é praticamente constante.

Prosseguindo o diálogo sobre o tempo, P6 ressalta que quando Newton trata da questão do tempo absoluto, ele está sendo contrário ao que pensava Albert Einstein ao tempo relativo. Com a necessidade de propiciar o *feedback*, fez-se oportuno enfatizar que Isaac Newton viveu no século XVII, e que as condições e o conhecimento eram outros. Por exemplo, não existia a máquina a vapor e nem sabiam fazer as medidas do tempo com tanta precisão. E esses adventos vieram bem depois, com os relógios mecânicos mais apurados. Assim, seria possível remeter aquela época refletindo sobre como Newton e contemporâneos viviam.

Com a apresentação do experimento do balde de Newton e a projeção da sua interpretação por intermédio da Mecânica Newtoniana e da Mecânica Relacional, os professores não contribuíram muito pelo fato de não conhecerem o experimento. Apenas duas professoras de física, P7 e P8, responderam por meio da conversa em aplicativo informando que ouviram falar dessa experiência quando estavam fazendo seus mestrados.

Ao encerrar a oficina, muitos relataram por meio da conversa de aplicativo a satisfação em poderem participar de um evento promovido pela UFMT, por meio do qual tiveram oportunidade de dialogar sobre ciência, bem como analisar as possibilidades de interpretação

²⁵ Na física, entende-se peso como a força de atração gravitacional exercida entre as massas. O peso, também chamado de força peso ou força gravitacional, é uma das forças fundamentais da natureza, juntamente às forças eletromagnéticas, força nuclear forte e força nuclear fraca. Além disso, a força peso é a mais fraca de todas as interações: são necessárias massas gigantescas para que a força peso possa ser percebida. Entretanto, em longas distâncias, como no caso das distâncias interplanetárias, a força peso se mostra a mais significativa, definindo o curso de astros, planetas, sistemas solares e até mesmo de galáxias. Informação disponível em: <https://brasile scola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-peso.htm> Acesso em out. 2021.

sobre a mecânica, partindo das origens até a modernidade, destacando que, o que era complexo se tornou acessível.

Até o presente momento, foram compartilhados os registros dos professores que deixaram suas contribuições no momento em que a oficina e a *live* ocorreram, apontando seus questionamentos, suas contribuições e indagações. Passa-se agora aos registros norteados pela mesma proposta, mas agora com os graduandos, conforme segue detalhadamente.

4.3 REGISTROS DOS CONTATOS POR MEIO DE CONVERSAS EM APLICATIVO COM OS GRADUANDOS

Com o objetivo de propiciar mais um encontro virtual e com um público diferente, outra oficina foi ofertada para que os graduandos pudessem ter a oportunidade de participar da I Jornada da Física ²⁶, que ocorreu no dia 16 de dezembro de 2020, tendo duração de duas horas, envolvendo graduandos, que implicou em três momentos, conforme segue exposto.

O primeiro momento da oficina envolveu uma introdução sobre a vida e obra de Isaac Newton, sendo o primeiro comentário direcionado para as questões religiosas, informando que as obras de Newton, inclusive o *Principia*, foram motivadas por questões religiosas.

Em seguida, G1 informou que ele vive isso na realidade e que busca equilibrar fé e ciência, entender e sentir o quanto isso é possível e que só de entender e tentar viver esse aspecto ocorre um salto para a evolução.

É importante destacar que os conceitos de ciência e religião são, ambos, produtos da modernidade. Assim, o entendimento dos processos históricos e sociais levaram à formação das categorias duais de ciência e religião, que são vitais para qualquer avaliação de suas relações contemporâneas.

Na sequência, G2 relata que tem material sobre a história e filosofia da física, e que disponibilizaria no grupo, caso alguém tivesse interesse. Assim, nessa perspectiva se observa que a interação via conversa, por meio do aplicativo, se fez importante, promovendo trocas entre as partes, fortalecendo elos com pessoas que estão tão distantes.

²⁶ Esta atividade recebeu o registro de I Jornada Virtual do Ensino de Física, tendo sido disponibilizado pelo YouTube na página do Programa de Pós-Graduação de Ensino de Ciências Naturais, e ocorreu por intermédio do seguinte link: https://www.youtube.com/watch?v=NUUILpH_BQ

Posteriormente, veio a indagação: “Por que se fala tanto nas Leis de Newton?”. G3 respondeu que é porque essas refletem diretamente nas vidas das pessoas, com os movimentos dos corpos, dos objetos e tudo que está ao redor. Aproveitando a resposta de G3, surgiu outra pergunta: “E, será que poderia haver outras leis que representam os eventos que ocorrem no cotidiano?”. Como ninguém se arriscou em responder à indagação, seguiu-se com a apresentação, visto que tal indagação seria abordada, posteriormente, na oficina. É necessário ressaltar ser impossível estudar física e não conhecer as teorias desenvolvidas por Isaac Newton, principalmente no ensino de física direcionado para a Educação Básica. Percebe-se que outras teorias não são propostas e que essa representação direcionada ao cotidiano não é instigada. Assim, se limitam especificamente as leis de Newton, tornando-as como únicas e recorrentes.

Continuando com a história sobre Newton, especificamente, tratando do momento em que ele precisou de alguns dados astronômicos para escrever o *Principia*, resolve procurar o John Flamsteed, sendo esse o primeiro astrônomo real da Inglaterra e fundador do Observatório de Greenwich. Newton havia registrado todos os dados que necessitava de Flamsteed, com o objetivo de proporcionar citação com créditos em sua obra, mas, na verdade, Newton não faz nenhuma citação e nem atribui créditos para Flamsteed, que fica muito revoltado e resolve comprar vários exemplares e incendiá-los na frente do Observatório Real. Com relação à referida informação, algumas contribuições foram aparecendo no processo de conversa por meio do aplicativo, pois eles não conheciam alguns fatos sobre a vida e obra de Newton, somente o trivial como a história da maçã.

G4 é professora e disse que essas duas frases de Newton teriam algo ligado ao Negativismo, haja vista que as circunstâncias o levaram a vencer desafios, embora o mesmo tenha usado de trapaça, sendo esse um erro crucial para sua fama. Para dar a devolutiva à referida pergunta, houve necessidade de levantar o argumento de que se pode falar em negativismo ou negacionismo, porque a situação era diferente naquela época, pois Newton havia trazido questões que ainda não haviam sido contextualizadas na sociedade. Prosseguindo com a resposta por meio do aplicativo, G4 complementa que isso foi caracterizado para ela como aspecto doentio em querer se autoafirmar.

Ao dar continuidade com a oficina, em exposição de revisão da Mecânica Newtoniana se passou ao momento de apresentar o experimento do balde de Newton por intermédio de demonstração com um vidro de xampu, com líquido colorido de azul suspenso por um barbante em sua tampa. Ao apresentar a proposta do experimento com a interpretação da Mecânica Newtoniana, se fez a pergunta sobre quais seriam as forças que atuavam no balde quando esse

estava parado e quando estava girando. Um dos graduandos respondeu que seria a força centrífuga, que por sinal estava chegando a um grande elemento para a proposta apresentada.

Quando se estava discutindo sobre o experimento do balde de Newton, especificamente, do espaço absoluto, direcionando toda argumentação sobre referencial inercial, também se discutiu sobre o movimento da Terra e o fato de se saber que essa gira ao redor do eixo e ao redor do Sol, ou seja, se a Terra está parada ou em movimento?

Mediante as devolutivas realizadas em conversas por intermédio de aplicativo, G1 e G3 relataram que a Terra está em movimento, enquanto G5 disse que está em movimento em relação ao Sol. G6 disse estar parada, pois essa não saiu debaixo do seu pé naquele momento, complementando que é o Sol que anda, ou seja, se não se sente a Terra se movendo, então, como se pode afirmar que essa esteja em movimento? Percebe-se nas manifestações certa dificuldade dos graduandos em encontrarem palavras que enunciem coerentemente a utilização da palavra “movimento” e “referencial”. Essa dificuldade de enunciação parece também advir de uma interpretação natural, associada à noção temporal de posição e em determinado referencial. O movimento do objeto de estudo pode ser observado em relação à Terra, ou seja, se a posição (em relação à Terra) muda, então o corpo está se movimentado.

Sendo assim, esta ideia de movimento expressa pelos participantes estaria de acordo com a Mecânica Newtoniana se a posição a que se referem os graduandos se encontrasse em um referencial inercial. Para esses casos, qualquer corpo que variasse sua posição estaria em movimento neste referencial, ou seja, se todos os referenciais citados tivessem velocidade nula, o movimento poderia ser descrito com a variação temporal da posição. Entretanto, como se está falando de referenciais inerciais, caracterizados pela velocidade constante, seja ou não nula, a ideia dos graduandos se mostra em contradição com a Mecânica Newtoniana.

O G2 faz uma relação da inteligência artificial com o achatamento da Terra no momento em que lhes fora apresentado a informação de que Isaac Newton se baseava nesse achatamento para apresentar uma prova de que essa gira, e com a seguinte informação surge sua contribuição, relatando sobre a reportagem que assistiu sobre inteligência artificial e robótica, sobre o estudo do movimento da Terra, em que as máquinas precisam de aprimoramento nos movimentos mais específicos e a robótica utiliza esses princípios para facilitar e aprimorar-se, e que nem imaginava que Newton já fazia essas projeções na sua época.

Percebe-se, dessa forma, que a noção de “movimento” presente no imaginário dos graduandos é aquela em que os movimentos aparentes ocorrem pelos mesmos princípios associados aos movimentos reais. A intenção com o balde de Newton foi possibilitar aos alunos a compreensão dos conceitos associados a esta experiência e lhes proporcionar o acesso à

conceituação galileana de movimento, que já era conhecida pelo próprio Newton por ocasião da formulação do problema do balde.

Com isso se faz oportuno destacar que, segundo Borges e Amantes (2003), procurar estratégias de ensino nas quais os conceitos físicos, principalmente aqueles básicos para o entendimento de uma teoria, sejam tratados de forma a visar seu maior entendimento e não deixar implícito seu significado na aplicação e na resolução de problemas.

O conceito de força centrífuga pela perspectiva de Mach provocou comentários tais como os de G3 e de G6: “Nova Lei, não sabia”, “A ciência é magnífica, as leis não são absolutas, bem como as teorias”. Percebe-se que é necessário sempre estar se atualizando e buscar superar a crença de que a ciência se baseia em opiniões, ainda que da maioria. A liberdade de pensamento é algo que pode ser conquistado.

Com o intuito de dialogar abertamente sobre diversas concepções relacionadas ao tempo e ao movimento, a experiência do balde de Newton, experimento histórico utilizado por Isaac Newton com objetivo de estabelecer as noções de movimento e tempo absolutos, percebeu-se que controvérsias foram criadas, conforme constatação pelos comentários dos participantes das atividades propostas.

Ademais, com a possibilidade da discussão dos aspectos históricos e controversos do experimento, pôde-se dialogar sobre as concepções da natureza da ciência que é considerada como verdade absoluta por inúmeras pessoas, sem espaço para dúvida, incerteza ou controvérsia. No entanto, por intermédio das devolutivas com as trocas partilhadas das respostas destacadas até aqui, podem ser notadas características relevantes perante a proposta apresentada.

4.4 PRODUTO EDUCACIONAL – REVISTA DE ATIVIDADES

Este trabalho tem como foco, também, apresentar o tema que envolve assunto da física em uma linguagem que se apresente mais acessível aos alunos, bem como aplique atividades lúdicas, ou seja, um material que possa apresentar possibilidades de ensino e aprendizagem de uma temática que tem sido considerada como difícil, de forma didática e contextualizada ao estudante.

Nesse sentido, o considerado Produto Educacional, fruto desta Dissertação, é em uma revista de atividades, denominada “Pelos caminhos da Mecânica Relacional: atividades para

sala de aula", na qual são apresentadas atividades lúdicas sobre os temas abordados na dissertação. Tais atividades proporcionam aos estudantes o desenvolvimento de raciocínio, reflexão e fixação de conceitos, especificamente envolvendo a experiência do balde de Newton.

Ressalta-se que este material foi desenvolvido como recurso didático que pode ser utilizado tanto para suporte em sala de aula quanto para complementação de estudos em realização de atividades consideradas lúdicas, mas que constroem e reforçam conceitos da física por meio dos quais se tem uma possibilidade estratégica e instrumental cujo enfoque está em impulsionar a criatividade e a potencialidade dos estudantes.

Diante disso, o material também mostra ser frutífero aos professores que podem aplicar as atividades como uma proposta didática investigativa, contextualizada, uma vez que esta revista foi desenvolvida levando em consideração um conteúdo intrigante e que permite o protagonismo do estudante, visto que o conhecimento científico é aplicado como base para a compreensão e questionamento de fenômenos da física.

Relevante entender que certos conteúdos da física têm sido, ao longo do tempo, classificados como abstratos e de difícil exposição. De acordo com Cid e Neto (2005), estar ciente dessas dificuldades e dos contextos em que surgem permitem que o professor planeje, com antecedência a forma como deve estruturar e apresentar tais temas aos estudantes, de maneira que consiga propiciar interesse em aplicação de uma prática pedagógica envolta em uma maior ludicidade, gerando um interesse investigativo por parte do estudante.

Diante desse enfoque, o uso de jogos ou atividades lúdicas para o ensino surgem como facilitadores no processo de aprendizagem, especialmente no âmbito do Ensino Fundamental e Médio.

De acordo com Batista e Silva (2018), as atividades de foco lúdico e investigativo sob a perspectiva didática permitem a promoção de formação de conceitos, compreensão de dinâmicas do trabalho científico, bem como a construção de um pensamento crítico e reflexivo acerca de fenômenos naturais, além de auxiliar no desenvolvimento de argumentos e questionamentos.

No atual contexto educacional em que há necessidade de uma mudança pedagógica diante do rompimento com o modelo tradicional de ensino presencial, que tem sido substituído por aulas remotas com uso de suporte de tecnologias, o desenvolvimento de uma aula mais atrativa contribui para que o estudante se interesse e participe desenvolvendo atividades como as que são descritas no produto educacional desenvolvido com o formato de uma revista de atividades.

Conforme se verifica nos estudos de Souza (2014), a utilização de recursos didáticos com ludicidade facilita a relação entre o conhecimento, o professor e o aluno, proporcionando a construção de concepções mais elaboradas e realistas acerca da ciência e dos cientistas, o que também implica em contribuir para o exercício de uma cidadania consciente e atuante.

Acrescenta-se a esse enfoque a abordagem de um trabalho pedagógico com aplicação de metodologias ativas que se destinam a desenvolver uma compreensão mais adequada da natureza da ciência, retirando a responsabilidade de racionalidade técnica imposta a essa por meio da qual o professor tinha a obrigação de deter todo conhecimento, para um direcionamento de uso de recursos didáticos que contribuam para aperfeiçoar conhecimentos científicos.

Nesse sentido, a educação científica brasileira precisa considerar o uso de metodologias ativas na realidade de ensino como possibilidade de explicar fenômenos vivenciados e explorá-los, investigá-los em aprimoramento de práticas e de saberes que surgem na forma de transformações que visam tornar esse saber mais acessível, sendo tal procedimento considerado como um desafio a ser superado diariamente. O desafio de aprendizagem de conceitos da área de física se confronta com o aspecto limitante da fragilidade que estudantes expressam em questionar os conteúdos, visto que muitas vezes esses são apresentados de forma acabada, segregadas, ou apenas em noções teóricas.

Assim, a utilização pelo professor de recursos didáticos diversos, especialmente na aplicação de atividades práticas e de perspectivas lúdicas, pode proporcionar uma aprendizagem mais envolvente, contribuindo para que os estudantes alcancem a apropriação de conceitos científicos.

Depreende-se que, no contexto de ensino remoto, o desafio de exposição e de compreensão de conceitos abstratos é maior, permitindo expor que uma proposta de prática pedagógica que aplique a ludicidade como incentivo de investigação e apropriação de conceitos surja como relevante para a construção de saberes.

A proposta de uso de atividades lúdicas de foco científico surge como mais uma estratégia de ensino, cujo direcionamento está em tornar o conhecimento da física mais próximo do estudante, explorando curiosidades sobre os cientistas e as teorias por eles desenvolvidas, em busca de construir interesse e envolvimento, bem como engajamento na resolução das atividades propostas.

O processo de apropriação de conhecimento científico pode ser maximizado quando o professor desenvolve o uso de metodologias ativas para o ensino, bem como ao propiciar momentos de atividades lúdicas sem perder de vista que o ato de ensinar, conforme expressa Freire (1996), é sempre uma possibilidade de intervir no mundo.

Seguindo essa abordagem, De Carvalho (2018) expõe que, atualmente, o fazer científico tem aplicado o considerado ensino por investigação para desenvolvimento de competências entendidas como de caráter geral, ou seja, aquelas que envolvem a leitura, a reflexão, a argumentação e a resolução de atividades.

Nessa mesma linha de entendimento, Pozo e Crespo (2009) expõem que a escola nem sempre consegue acompanhar o processo de divulgação de informações decorrentes de inovações que as mídias têm veiculado, mas a escola como instituição de ensino deve propiciar aos estudantes o desenvolvimento de capacidades de aprendizagem que permitam a esses uma assimilação crítica de informações, para que façam a atribuição de sentido.

Nesse sentido, entende-se que para o ensino de ciências, especialmente a física, é preciso aplicar estratégias didáticas que sejam entendidas como facilitadoras e envolventes, relacionadas com os métodos de aprendizagem ativa, em especial, no contexto da educação que perpassa o uso de tecnologias, portanto, distanciando o contato pessoal do professor e aluno e fazendo com que sejam desenvolvidas possibilidades didáticas com foco na promoção da autonomia do estudante, direcionadas para um processo motivacional desse.

Dessa forma, os desafios dessa “nova” realidade educacional da atualidade levaram ao desenvolvimento de material considerado como produto educacional, em forma de revista de atividades, com intuito de colaborar no fortalecimento da participação ativa do estudante, a partir do lúdico no ensino de física. Assim, atualmente, é possível afirmar que o processo de ensino e de aprendizagem tem passado por um período de transformações envolvendo o mundo físico da escola com o ambiente virtual, proporcionando relevância para a aplicação de novas metodologias de ensino, que se tornam alternativas fundamentais para este período de nova realidade na educação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A humanidade, ao longo do tempo, sempre se preocupou em entender fenômenos relacionados com o mundo e sua constituição, da mesma forma que fenômenos associados com a origem dos movimentos dos corpos. Os estudos de Isaac Newton vinculados com a mecânica foram uma grande conquista científica, pois o fundamento da mecânica se vincula com a força ou ação entre dois corpos que ocorre ao longo da direção que os une, tal como força gravitacional, bem como seu efeito de alterar o estado de movimento dos corpos.

A partir do século XIX, rupturas começaram a aparecer no conceito de referencial da mecânica clássica e certas dificuldades de explicar a natureza e a propagação da luz, mas o paradigma mecânico resistiu.

No entanto, uma nova interpretação das causas do movimento dos corpos surgiu com os estudos de física, conforme as ideias de Leibniz, Berkeley, Mach e outros, sendo essa baseada nas grandezas relativas, como distância, velocidade e aceleração entre corpos.

A mecânica relacional tem origem não somente como uma alternativa à mecânica clássica, mas com a proposta de conceitos que explicam diversos fenômenos observados, tais como os evidenciados pela experiência do balde de Newton, considerado como experiência simples da física e que propicia amplas e profundas relações sobre os fundamentos da mecânica.

Finaliza-se este estudo trazendo a devolutiva frente a este trabalho, especialmente, sobre as discussões dos efeitos e das consequências do cenário projetado. Esse trabalho teve como palco a Mecânica Newtoniana, sendo o balde o protagonista. Foi possível constatar que a aplicação do protagonista instigou a reflexão crítica dos fenômenos envolvidos sob o ponto de vista da Mecânica Relacional. Notou-se que os graduandos e os professores demonstraram interesse nos fenômenos observados após a trajetória histórica com as reflexões de Berkeley, Leibniz, Mach e Assis.

Percebeu-se, a partir das devolutivas dos participantes no momento da *live* e pelo registro nos questionários aplicados, que não existe uma única teoria para explicar o movimento dos corpos e que a Mecânica Relacional traz outra perspectiva frente a essa interpretação. Não houve intenção em impor uma verdade, mas em apresentar diferentes perspectivas, permanecendo a decisão ao leitor.

Dessa forma, com a referida crítica reflexiva foi possível notar que os participantes foram estimulados a aprofundarem suas pesquisas sobre o que viria a ser esse espaço absoluto de Isaac Newton, caso estivessem dispostos a se libertarem dos métodos tradicionais de

interpretação. Cabe destacar que uma parte pequena dos participantes se posicionou contra o ponto de vista da experiência do balde sob a interpretação da Mecânica Relacional, uma consequência do atavismo presente, uma vez que não apresentaram justificativa.

Por outro lado, 90% dos participantes nunca tinham ouvido falar na experiência do balde de Newton e um dos motivos do diálogo não ter fluído no momento da apresentação decorre desse desconhecimento do experimento proposto por Isaac Newton. Esse resultado pode ser promissor no sentido de aplicação de diálogos reflexivos nas escolas de educação básica, com a utilização do produto educacional apresentado. As respostas aos questionários, bem como as manifestações ao longo das atividades, favoreceram a constatação pelos participantes que formalismos distintos podem levar a diferentes conclusões. Não se trata, portanto, de escolha desta ou daquela teoria, mas de aprofundamento conceitual para que a opção seja a mais adequada.

Enfim, esse trabalho cumpre seu objetivo de apresentar uma proposta didático-pedagógica que estimula o confronto ao que há de mais fundamental na ciência, especificamente nas causas do movimento dos corpos.

REFERÊNCIAS

AMANTES, A; BORGES, O. Entendimento sobre movimento relativo e sistema de referência: o saber explicitar com indício do pensamento formal. In.: NARDI, R.; BORGES, O. (orgs). Atas do 5º Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. **ATAS DO V ENPEC**. n. 5. 2005. Bauru: ABRAPEC, 2005.

ASSIS, André Koch Torres e ZYLBERSZTAJN, Arden. **A Influência de Ernst Mach no Ensino da Mecânica**. Disponível em <http://www.fsc.ufsc.br/~arden/assiszylb.doc>

ASSIS, André Koch Torres. **Centro de Lógica, Epistemologia e história da ciência - UNICAMP. Mecânica Relacional. Mundo Velho. Mecânica Newtoniana**. Campinas São Paulo: Coleção CLE: Volume 22, 1998.

ASSIS, André Koch Torres. **Mecânica Relacional e Implementação do Princípio de Mach com a Força de Weber Gravitacional**. Apeiron, Montreal, 2013. ISBN: 9780986492693. Disponível em http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0410642_06_cap_02.pdf acesso em 16/03/2021 Descrição do Método Utilizado por Newton na Elaboração de sua Física – Estilo Newtoniano.

ASSIS, André Koch Torres. O balde de Newton e o espaço absoluto: Uma resenha de Mecânica Relacional, de André Koch Torres Assis, CLECH, UNICAMP, (1998), 349 p., **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Vol. 21, p. 558-560 (1999).

AUSUBEL, D. P. **A Aprendizagem Significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo, Moraes, 1982.

BATISTA, Renata FM; SILVA, Cibelle Celestino. A abordagem histórico-investigativa no ensino de Ciências. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 94, p. 97-110, 2018.

BHADRA, A., DAS, S.C. **Comment on “On Mach’s critique of Newton and Copernicus,”** by Herbert I. Hartman and Charles Nissim-Sabat, vol. 71, n. 11, 1163-1169 (2003).

BERKELEY, G. A Treatise concerning the Principles of Human Knowledge. In M. R. Ayers, editor, **George Berkeley’s Philosophical Works**, p. 61–127, London, 1992. Everyman’s Library.

BERKELEY, G. De Motu — Of Motion, or the principle and nature of motion and the cause of the communication of motions. In M. R. Ayers, editor, **George Berkeley’s Philosophical Works**, pages 211–227, London, 1992.

BERKELEY, G. De motu [sobre o movimento ou sobre o princípio, a natureza e a causa da comunicação dos movimentos]. **Scientiae Studia**, 4:115–137, 2006. Tradução de M. R. d. Silva.

BERKELEY, G. Tratado sobre os Princípios do Conhecimento Humano. In: Victor Civita, editor, Volume “Berkeley e Hume” da Série: **Os Pensadores**, p. 1–44, São Paulo, 2 ed., 1980. Abril Cultural. Traduzido por A. Sérgio.

BORGES, O; AMANTES, A. O Entendimento de Estudantes do Ensino Médio sobre Sistema de Referência e Movimento Relativo. In.: Atas do 4º Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. **ATAS DO IV ENPEC**. n. 4. 2003. Bauru: ABRAPEC, 2003.

BORGES, Regina Maria Rabelho e LIMA, Valdevez Marina do Rosário. Tendências contemporâneas do ensino de Biologia no Brasil. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias** Vol. 6, nº 1, 2007.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais**. Brasília: MEC/SEF. 1998.

BRUNER, J. **Realidade mental, mundos possíveis**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998

BRUNER, J. S. **O Processo da Educação**. 3ª ed. São Paulo. Nacional. 1973a.

CANAVARRO, J. M. **Ciência e Sociedade**. Coimbra: Quarteto Editora, 1999.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **Ciências no ensino fundamental: o conhecimento físico**. Anna Maria Pessoa de Carvalho [et al.]. São Paulo: Scipione, 1998.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Introduzindo os alunos no universo das ciências. In: WERTHEIN, Jorge; CUNHA, Célio da (Org.). **Educação científica e desenvolvimento: o que pensam os cientistas**. Brasília: UNESCO, Instituto Sangari, 2005.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (Org.). **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2018.

CID, Marília; NETO, Antonio J. Dificuldades de aprendizagem e conhecimento pedagógico do conteúdo: o caso da genética. **Enseñanza de las Ciencias**, n. Extra, p. 1-5, 2005.

CHAIB, J.P.M.C., AGUIAR, M.C. Força de inércia: aprofundando o debate, **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 142-161 (2016), DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n1p142>

COHEN, Bernard, **La Revolución Newtoniana y la transformación de las ideas científicas**, trad. Carlos Solís Santos, Madrid, Alianza Editorial, 1983.

COHEN, I. Bernard. **Revolution in science**, Cambridge, MA: The Belknap Press of Harvard University Press, 1985.

COHEN, I. Bernard, **Introduction to Newton’s ‘Principia’**, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1978.

COHEN, I. Bernard. **O Nascimento de uma Nova Física**. trad. Maria Alice Gomes da Costa, rev., adapt. e notas José Félix Gomes da Costa; préf. João Andrade e Silva; rev. de texto Miguel Pereira, Lisboa, Gradiva, 2002.

DE CARVALHO, Anna Maria Pessoa. Fundamentos teóricos e metodológicos do ensino por investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 765-794, 2018.

FEYERABEND, P. **Contra o método**. Trad. Cezar A. Mortari. São Paulo. EDUNESP, 2007.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia**. Editora Paz e Terra, 1996.

FRIEDMANN, Adriana. **Brincar, crescer e aprender: o resgate do jogo infantil**. São Paulo: Moderna, 1996.

GADOTTI, M. **Marx: transformar o mundo**. São Paulo: FTD, 1991.

GIL PÉREZ et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. São Paulo, **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GOLEMAN, Daniel. **Estruturas da mente: a teoria das inteligências múltiplas**. São Paulo: Graffex, 1999.

HARTMAN, Herbert I., Charles Nissim-Sabat, On Mach's critique of Newton and Copernicus, **American Journal of Physics**, vol. 71, 1163 (2003), doi: 10.1119/1.1593657

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

KRASILCHIK, M. Reformas e realidade: o caso do ensino das ciências. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 14, nº 1, p. 85-93, 2000.

KRASILCHIK, Myriam; MARANDINO, Martha. **Ensino de ciências e cidadania**. São Paulo: Moderna, 2004.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 9ª ed. São Paulo: Perspectiva, 2007.

LEIBNIZ, G. W. Correspondência com Clarke. Volume "Newton e Leibniz" da Série "Os Pensadores". Abril Cultural, São Paulo, 1983. Tradução e notas de C. L. d. Mattos.

LEIBNIZ, G. W. **Philosophical Essays**. Hackett Publishing Company, Indianapolis, 1989.

MACH, E. **History and Root of the Principle of the Conservation of Energy**. Open Court, Chicago, 1911. Tradução do alemão e anotações de P. E. B. Jourdain.

MACH, E. History and Root of the Principle of the Conservation of Energy. In I. B. Cohen, editor, **The Conservation of Energy and the Principle of Least Action**, New York, 1981. Arno Press. Reimpressão em 1911. Tradução de P. E. B. Jourdain.

MACH, E. **On the definition of mass**. In History and Root of the Principle of the Conservation of Energy, p. 80–85. Open Court, Chicago, 1911. Tradução do alemão e anotações de P. E. B. Jourdain.

MACH, E. **On the definition of mass**. In I. B. Cohen, editor, **The Conservation of Energy and the Principle of Least Action**, p. 80–85. Arno Press, New York, 1981. Tradução de P. E. B. Jourdain.

MACH, E. **On the fundamental concepts of electrostatics**. In E. Mach, editor, **Popular Scientific Lectures**, p. 107–136. Open Court, 4th edition, 1910. Tradução de T. J. McCormack.

MACH, E. **The Principles of Physical Optics** — An Historical and Philosophical Treatment. E. P. Dutton and Company, New York, 1926. Reimpressão em Dover, New York, 1953.

MACH, E. **The Science of Mechanics** — A Critical and Historical Account of Its Development. Open Court, La Salle, 6 ed., 1960. Tradução de J. McCormack.

MARANDINO, Martha; SELLES, Sandra Escovedo; FERREIRA, Marcia Serra. **Ensino de Biologia: histórias e práticas em diferentes espaços educativos**. [S.l: s.n.], 2009. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001796895> Acesso em 21 mar. 2021.

MONTEIRO, Marco Aurélio Alvarenga, TEIXEIRA, Odete Pacubi Baierl. Proposta e avaliação de atividades de conhecimento físico nas séries iniciais do ensino fundamental. **Caderno brasileiro de ensino de física**. Brasil. 21, (1), 2004.

NEWTON, Isaac, **Princípios Matemáticos de la Filosofia Natural**, trad. Eloy Rada, Madrid, Alianza Editorial, 2004.

NEWTON, Isaac. **Mathematical Principles of Natural Philosophy**. University of California Press, California, 1946.

NEWBURGH, R., Inertial forces, absolute space, and Mach's principle: the genesis of relativity, **American Journal of Physics**, 75, 427 (2007), doi: 10.1119/1.2431185

OSLER, Margaret J. (org.). **Rethinking the Scientific Revolution**, Cambridge, U.K, 2000.

PEDUZZI, L. Q. Q. Sobre a resolução de problemas no ensino da física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, 14(3), 229-253, 1997.

PIRES, A.S.T. **Mecânica Newtoniana**. Evolução das ideias da física em História da ciência. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **Por que os alunos não aprendem a ciência que lhes é ensinada?** A aprendizagem e o ensino de Ciências. Do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. v. 5, p. 14-28, 2009.

Resenha de Mecânica Relacional, **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Vol. 15, número 2, p. 210-212 (1998); (A2) Esta resenha em espanhol: A. Zylbersztajn, Reseña: Mecânica Relacional, **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Vol. 15, Nº 2 (1998); (B) W. Barroso, Físico revê polêmica Newton/Leibniz, jornal O Tempo - Ano 3, número 822, **Caderno Magazine**, p. 3, 27/02/99; (C) D. S. L. Soares.

ROSA, M. I. P. (org) **Formar: encontros e trajetórias com professores de ciências**. São Paulo: Escrituras Editora, 2005.

SANTOS, F. M. T.; GRECA, I. M. **A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias**. Ijuí, RS. Unijuí, 2006.

SANTOS, Santa Marli P. dos (org.). **Brinquedo e Infância: um guia para pais e educadores**. Rio de Janeiro: Vozes, 1999.

SASSERON, L. H. **Alfabetização Científica no ensino Fundamental: Estrutura e indicadores deste processo em sala de aula**. Tese – Faculdade de Educação da USP, São Paulo, 2008.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 3, p. 333-352, 2008.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Construindo argumentação na sala de aula: a presença do ciclo argumentativo, os indicadores de Alfabetização Científica e o padrão de Toulmin. **Ciência e Educação**, v. 17, p. 97-114, 2011.

SASSERON, Lúcia Helena. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. **Ensaio**. Belo Horizonte, v. 17, n. especial, p. 49-67, nov. 2015.

SASSERON, Lúcia Helena. Interações discursivas e investigação em sala de aula: o papel do professor. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (Org.). **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

SASSERON, Lúcia Helena; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 16(1), p. 59-77, 2011.

SASSERON, Lúcia Helena; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 13(3), p. 333- 352, 2008.

SASSERON, Lúcia Helena; MACHADO, Vítor Fabrício. **Alfabetização científica na prática: inovando a forma de ensinar física**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.

SASSERON, Lúcia, Helena. Ensino de ciências por investigação e o desenvolvimento de práticas: uma mirada para a base nacional comum curricular. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 1061-1085, 2018.

SCARPA, D. L. **Cultura escolar e cultura científica: aproximações, distanciamentos e hibridações por meio da análise de argumentos no ensino de biologia e na Biologia**. Tese – Faculdade de Educação da USP, São Paulo, 2009.

SCHNETZLER, R. P. Construção do conhecimento e ensino de Ciências. **Em Aberto**, 55(11), 17-22, 1992.

SILVA, A. C. T. **Estratégias enunciativas em salas de aula de química: contrastando professores de estilos diferentes**. Tese – Faculdade de Educação da UFMG, Belo Horizonte, 2009.

SILVA-BATISTA, Inara Carolina da; MORAES, Renan Rangel. História do ensino de Ciências na Educação Básica no Brasil (do Império até os dias atuais). **Revista Educação Pública**, v. 19, nº 26, 22 de outubro de 2019. Disponível em: <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/19/26/historia-do-ensino-de-ciencias-na-educacao-basica-no-brasil-do-imperio-ate-os-dias-atuais>

SOARES, Domingos S.L. **Departamento de Física**, ICEX, UFMG, C.P. 702. 30.161-970 Belo Horizonte, MG, 1998.

SOUSA, Grasielle Pereira; TEIXEIRA, Paulo Marcelo Marini. Educação CTS e Genética. Elementos para a sala de aula: potencialidades e desafios. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 9, n. 2, p. 83-103, 2014.

The principia: mathematical principles of natural philosophy. Trad. Bernard Cohen e Anne Whitman. Los Angeles: University of California Press, 1999.

VAZ, W.F; SOARES, M.H.F.B. **Jogos no ensino de ciências e química**: uma experiência com menores infratores. 30ª RASBQ, 2007.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

WESTFALL, Richard. **A Construção da Ciência Moderna**: mecanismos e mecânica, trad. Sérgio Duarte Silva; coord. colec. e rev. cient. Ana Simões e Henrique Leitão, Porto, Porto Editora, 2003.

WESTFALL, Richard. **Force in Newton's physics**: the science of dynamics in the seventeenth century, London, Macdonald, 1971.

WESTFALL, Richard. **Never at Rest**: A Biography of Isaac Newton, Cambridge, London, New York: Cambridge University Press, 1980.

APÊNDICE

o balde de Newton²⁷

A experiência do balde de Newton é importante como base para reflexões sobre as leis de movimento na Mecânica Clássica e na Mecânica Relacional. Com a comparação entre os resultados, pode-se aprofundar nos conceitos fundamentais.

A1. Mecânica Relacional – definições

O objetivo é refletir sobre os resultados obtidos por meio da experiência do balde de Newton, que consiste em um recipiente contendo água. Impõe-se a rotação do recipiente em torno de um eixo central e, como resultado, o líquido assume uma forma de parabolóide de revolução.

O intuito é descrever a forma assumida pela água no recipiente e compreender os fundamentos físicos associados ao movimento do líquido. Para tanto, serão apresentados, previamente, algumas definições relacionadas à Mecânica Relacional.

Na Mecânica Relacional, o espaço pode ser estruturado em dois grupos:

- GRUPO A: composto pelo corpo de prova e demais corpos com os quais o corpo de prova interage em conjunto com as distribuições anisotrópicas.
- GRUPO B: composto pelas distribuições isotrópicas ao redor do corpo de prova.

Para compreensão das interações entre os corpos, as energias associadas ao sistema contendo o corpo são descritas conforme expressões seguintes:

- U_{aa} : energia dos N corpos do grupo A interagindo entre si.

- U_{ii} : energia de interação entre os
- $$U_{aa} = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^N \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^N U_{pq}$$

²⁷ Notas desenvolvidas com base na obra Mecânica Relacional e Implementação do Princípio de Mach com a força de Weber gravitacional (ASSIS, 2013, p. 130).

- U_{ai} : energia dos N corpos do gr $U_{ii} = \frac{1}{2} \sum_{\text{todo } p} \sum_{\substack{\text{todo } q \\ q \neq p}} U_{pq}$ as distribuições isotrópicas.

$$U_{ai} = \sum_{p=1}^N \sum_{\text{todo } q \neq p} U_{pq}$$

É importante observar que as expressões de energia na Mecânica Relacional permite determinar a energia total do sistema:

$$U_{\text{total}} = U_{aa} + U_{ii} + U_{ai}$$

A Mecânica Relacional é fundamentada pela lei de Weber:

$$\vec{F}_{21} = -H_g m_{g1} m_{g2} \frac{\hat{r}_{12}}{r_{12}^2} \left\{ 1 - \frac{\xi}{c^2} \left(\frac{\dot{r}_{12}^2}{2} - r_{12} \ddot{r}_{12} \right) + \alpha r_{12} \left(1 - \frac{\xi}{2} \frac{\dot{r}_{12}^2}{c^2} \right) \right\} \exp^{-\alpha r_{12}} = -\vec{F}_{12}$$

e pela energia em um sistema no qual o conjunto das galáxias distantes está em repouso:

$$U_{aa} + U_{ii} + U_{ai} = U_{aa} = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^N \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^N U_{pq} + \Phi_{\infty} \left\{ \sum_{p=1}^N m_{gp} \frac{\vec{v}_{pU} \cdot \vec{v}_{pU}}{2} \right\} = \text{constante no tempo}$$

$$\Phi_{\infty} = \frac{4\pi H_g \rho_{g0} \xi}{3c^2 \alpha^2}$$

é constante e ρ_{g0} é a densidade de volumétrica de massa gravitacional do conjunto das galáxias, indicando a interação entre o corpo de prova e todos os demais corpos, inclusive as galáxias distantes.

Na Mecânica Clássica, a velocidade v_j que compõe a energia cinética

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

é em relação ao espaço absoluto e, portanto, assume diferentes valores em referenciais distintos.

Na Mecânica Relacional, a velocidade relativa entre o corpo de prova e as galáxias distantes (\vec{v}_{pU}) independe de o sistema de referência estar em repouso ou em movimento qualquer.

A2. Forças na Mecânica Relacional

Na Mecânica Relacional, um dos postulados estabelece que a soma de todas as forças aplicadas ao corpo k é nula:

$$\sum_{\substack{\text{todo } q \\ q \neq k}} \vec{F}_{qk} = \vec{0}$$

Para o referencial universal, considerando m_{gk} a massa gravitacional da massa em deslocamento, a equação de movimento pode ser expressa da seguinte forma:

$$\sum_{\substack{\text{todo } q \\ q \neq k}} \vec{F}_{qk} = \vec{F}_a + \vec{F}_i$$

$$\sum_{\substack{p=1 \\ p \neq k}} \vec{F}_{pk} - \Phi_{\infty} m_{gk} \vec{a}_{kU} = \vec{0}$$

O termo da força inercial

$$\vec{F}_i = -\Phi_{\infty} m_{gk} \vec{a}_{kU}$$

surge da aplicação da lei de Weber para a interação entre o corpo de prova e a parte isotrópica do sistema ao seu redor.

O termo

$$\sum_{\substack{p=1 \\ p \neq k}} \vec{F}_{pk}$$

representa a força sobre k devida às distribuições anisotrópicas de matéria ao seu redor.

Para comparação, pode-se observar as equações de movimento na Mecânica Clássica e na Mecânica Relacional.

- Mecânica Clássica:

- Mecânica Relacional:
$$\sum_{\substack{p=1 \\ p \neq k}}^N \vec{F}_{pk} = m_{ik} \vec{a}_k$$

$$\sum_{\substack{p=1 \\ p \neq k}} \vec{F}_{pk} - \Phi_{\infty} m_{gk} \vec{a}_{kU} = \vec{0}$$

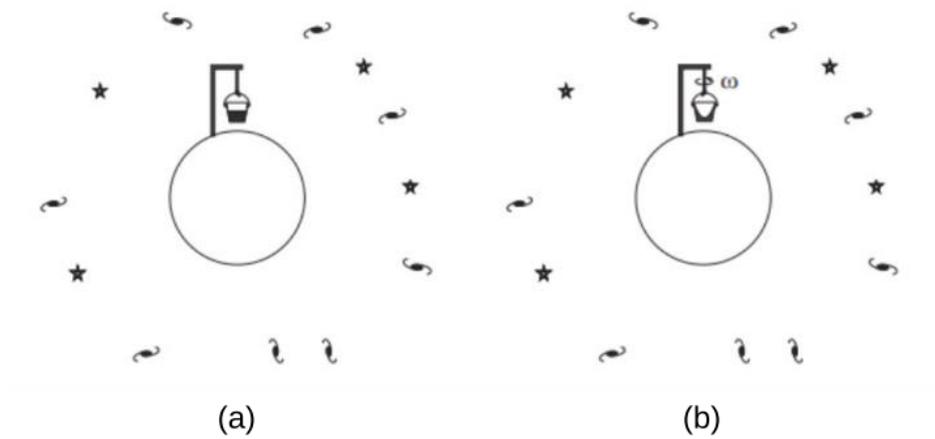
A3. Aplicação ao balde de Newton

A3.1. Balde de Newton segundo a Mecânica Clássica

A3.1.1. Balde + água em rotação com relação ao solo

A figura a seguir apresenta um balde com água em duas situações distintas: (a) parados e (b) em movimento de rotação em relação ao solo.

Figura A1: Água e balde em duas situações: parados e em movimento de rotação em relação ao solo.



(a) (b)

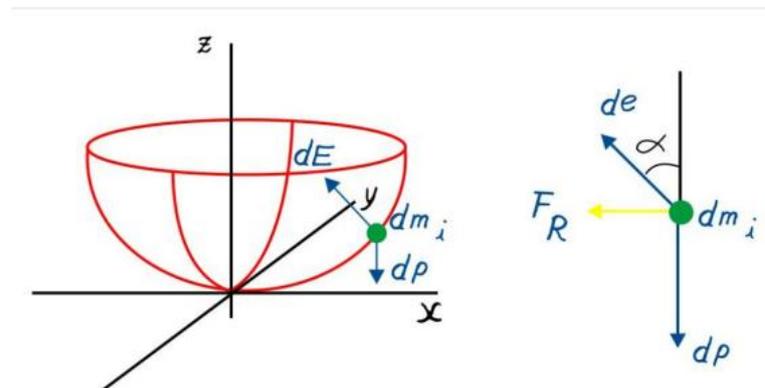
Fonte: ASSIS (2013, p. 130)

A distância entre um elemento de massa do líquido e o eixo de rotação (eixo z) é

$$u = \sqrt{x^2 + y^2}$$

e o diagrama de forças está representado na figura a seguir.

Figura A2: Diagrama de forças aplicadas a um elemento de massa inercial dm_i .



Fonte: baseada em ASSIS (2013, p. 375)

Seguem algumas definições adotadas:

- $dm_i = \rho_i dV$: elemento de massa inercial
- $dm_g = \rho_g dV$: elemento de massa gravitacional ($dP = dm_g g$)

Decompondo os vetores, obtêm-se:

$$(dE)\cos\alpha - dP = 0$$

e

$$dE = \frac{dm_g g}{\cos\alpha}$$

$$(dE)\operatorname{sen}\alpha = dm_i a_c$$

em que

é a aceleração centrípeta. Com isso

$$a_c = \frac{v_t^2}{u} = \omega^2 u$$

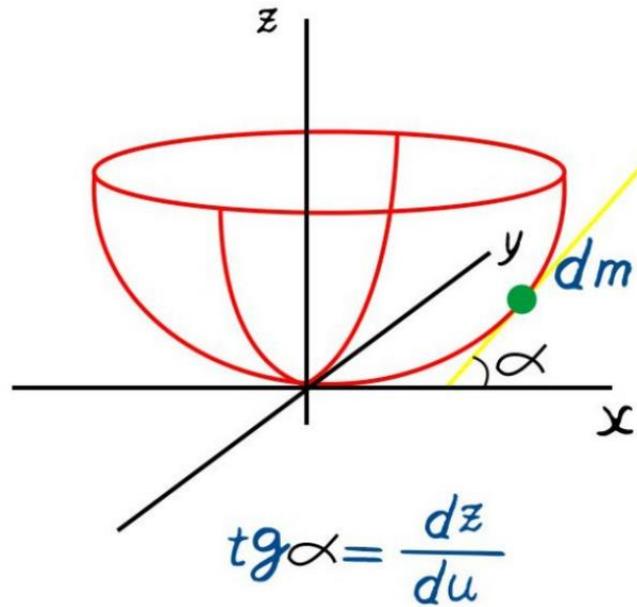
$$(dE)\operatorname{sen}\alpha = dm_i \omega^2 u$$

Logo:

$$\begin{cases} dE = \frac{dm_g g}{\cos\alpha} \\ (dE)\operatorname{sen}\alpha = dm_i \omega^2 u \\ dm_g g \operatorname{tg}\alpha = dm_i \omega^2 u \end{cases}$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{dm_i \omega^2 u}{dm_g g}$$

Figura A3: Representação da inclinação da água no balde.



Fonte: a autora

Logo

$$\frac{dz}{du} = \frac{dm_i}{dm_g} \frac{\omega^2 u}{g}$$

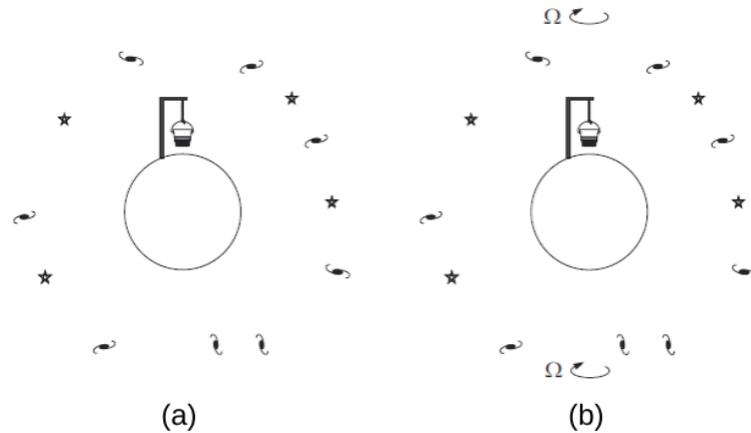
$$z = \frac{dm_i}{dm_g} \frac{\omega^2}{2g} u^2$$

que configura um parabolóide de revolução, consequência das forças aplicadas à água em seu movimento de rotação junto com o balde.

A3.1.2. Balde + água em relação ao solo e corpos celestes em rotação

Se considerarmos a água e o balde parados em relação ao solo e os corpos astronômicos girando ao seu redor, a massa de água deveria ter o mesmo formato e o efeito deveria ser o mesmo.

Figura A4: Representação do balde e da água parados em relação ao solo, com a Terra e os corpos celestes girando em torno do eixo com velocidade angular Ω .



Fonte: ASSIS (2013, p. 132)

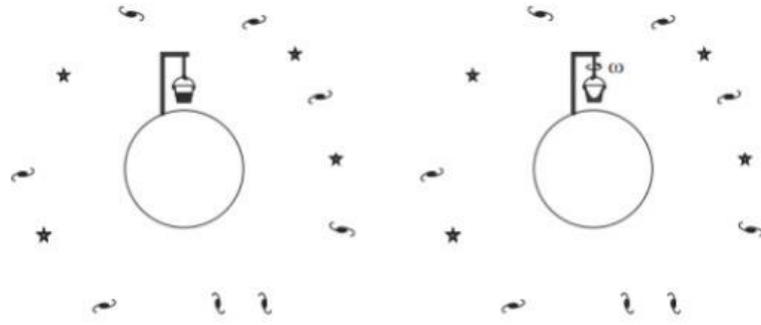
Contudo, na Mecânica Clássica, o balde e a água estão parados em relação ao espaço absoluto e não em relação às galáxias distantes ou qualquer outro corpo. Portanto, **a superfície da água permaneceria plana.**

A3.2. Balde de Newton segundo a Mecânica Relacional

A3.2.1. Água + balde em rotação

Consideremos, agora, o mesmo evento, mas sob a perspectiva da Mecânica Relacional. A figura 5 representa a água e o balde parados em relação à terra (à esquerda) e em rotação com velocidade angular ω em relação ao solo.

Figura A5: Representação do balde e da água parados em relação ao solo (esquerda) e em rotação em torno do eixo com velocidade angular ω .



Fonte: ASSIS (2013, p. 130)

Nesse caso, utilizaremos a equação de movimento na Mecânica Relacional:

$$\sum_{\substack{p=1 \\ p \neq k}}^N \vec{F}_{pk} - \Phi_{\infty} m_{gk} \vec{a}_{kT} = \vec{0}$$

sendo \vec{a}_{kT} a aceleração de k em relação à Terra.

As forças agindo sobre a massa de água (m_k) devido às distribuições anisotrópicas ao seu redor são o peso e o empuxo. Tal qual na Mecânica Clássica, usaremos

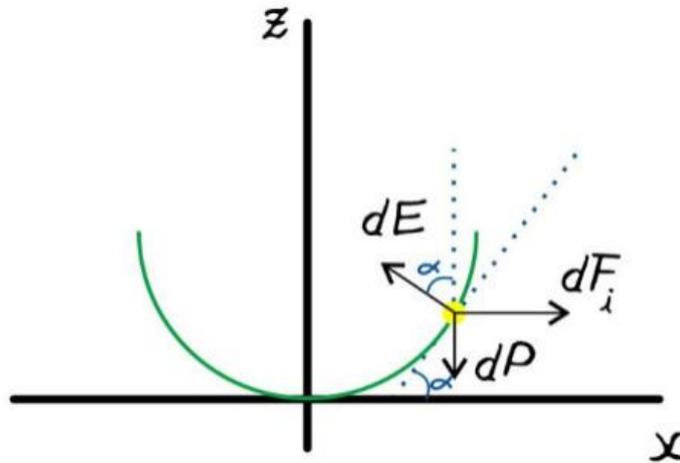
$$u = \sqrt{x^2 + y^2}$$

como distância entre o elemento de massa e o eixo de rotação. A inclinação também será a mesma:

$$\text{tg} \alpha = \frac{dz}{du}$$

A figura 6 representa a distribuição de forças agindo sobre o elemento de massa dm_g .

Figura A6: Representação da distribuição de forças agindo sobre dm_g .



Fonte: ASSIS (2013, p. 125)

Nessa representação, dF_i é a força inercial devido à ação gravitacional exercida pelas galáxias distantes, inexistente na Mecânica Clássica.

Retornando à equação do movimento na Mecânica Relacional, temos:

$$\sum_{\substack{p=1 \\ p \neq k}}^N \vec{F}_{pk} - \Phi_{\infty} m_{gk} \vec{a}_{cT} = \vec{0}$$

$$\sum_{p=1}^{p \neq k} d\vec{P} + d\vec{E} + d\vec{F}_i = \vec{0}$$

$$d\vec{P} + d\vec{E} - \Phi_{\infty} m_{gk} \vec{a}_{cT} = \vec{0}$$

sendo

$$\vec{a}_{cT} = -\frac{v_{cT}^2}{u} \hat{u} = -\omega_{cT}^2 u \hat{u}$$

$$\begin{cases} dE \operatorname{sen} \alpha = \Phi_{\infty} dm_{gk} a_{cT} \\ (dE) \operatorname{cos} \alpha - dP = 0 \end{cases}$$

$$dm_{gk} g \operatorname{tg} \alpha = \Phi_{\infty} dm_{gk} \omega_{cT}^2 u$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Phi_{\infty} \omega_{cT}^2 u}{g}$$

Logo

$$z = \frac{\Phi_{\infty} \omega^2}{2g} u^2$$

Ou seja, assim como na Mecânica Clássica, a Mecânica Relacional prevê a água formando um parabolóide de revolução quando o balde e a água giram com velocidade angular ω em torno do eixo.

A3.2.1. Água em repouso + balde e sistema de referência em rotação

Consideremos, agora, a água em repouso em um balde que gira junto com um sistema de referência R com velocidade angular $\vec{\Omega}_{GR}$ em torno de um eixo. Nesse caso, a equação de movimento geral é expressa como

$$\sum_{\substack{p=1 \\ p \neq k}}^N \vec{F}_{pk} - \Phi_{\infty} m_{gk} \left\{ \vec{a}_{kR} + \vec{\Omega}_{GR} \times (\vec{\Omega}_{GR} \times \vec{r}_{kR}) + 2\vec{v}_{kR} \times \vec{\Omega}_{GR} + \vec{r}_{kR} \times \frac{d\vec{\Omega}_{GR}}{dt} \right\} = 0$$

Nessa representação, temos:

- $\vec{\Omega}_{GR}$: velocidade angular do universo como um todo em torno do eixo que passa pela origem do sistema de referências R .
- \vec{r}_{kR} : posição da partícula k em relação à origem do sistema de referências R .
- \vec{v}_{kR} : velocidade do corpo de prova em relação ao referencial R .
- \vec{a}_{kR} : aceleração do corpo de prova em relação ao referencial R .

e as origens dos termos são:

- **Primeiro termo:** aceleração do corpo em relação ao referencial R .
- **Segundo termo:** referencial R girando com velocidade $\vec{\Omega}_{GR}$.
- **Terceiro termo:** sistema girando em relação a R .
- **Quarto termo:** referencial acelerado com aceleração $\frac{d\vec{\Omega}_{GR}}{dt}$.

No caso em questão, a água está em repouso em relação à Terra e a velocidade angular do Universo é considerada constante, ambos resultados de observações. Logo, para o

movimento da água temos $\vec{v}_{kR} = 0$ e $\vec{a}_{kR} = 0$ e para o movimento do Universo $\frac{d\vec{\Omega}_{GR}}{dt} = 0$. Assim, a equação do movimento a ser utilizada é expressa como:

$$\sum_{\substack{p=1 \\ p \neq k}}^N \vec{F}_{pk} - \Phi_{\infty} m_{gk} \vec{\Omega}_{GR} \times (\vec{\Omega}_{GR} \times \vec{r}_{kR}) = 0$$

Observemos que a Mecânica Relacional prevê a ação de uma força real (não fictícia) sem a necessidade de considerar as correções para um sistema de referência não-inercial. Essa força é a responsável pelo efeito sobre a água no balde, ainda que esta esteja em repouso em relação à Terra, um efeito da interação entre os corpos celestes e a massa de água do balde.

A3.2.2. Desaparecimento dos corpos celestes

Observemos o formato da água no balde se todos os corpos celestes desaparecessem.

Uma vez que

$$\Phi_{\infty} = \frac{4\pi H_g \rho_{g0} \xi}{3c^2 \alpha^2}$$

se os corpos celestes desaparecessem, então $\rho_{g0} = 0$ e, conseqüentemente, $\Phi_\infty = 0$. Logo, todas as influências dos corpos celestes cessariam e, obviamente, não haveria interação com a massa de água.

A equação de movimento seria expressa por:

$$\sum_{\substack{p=1 \\ p \neq k}}^N \vec{F}_{pk} = d\vec{P} + d\vec{E} = 0$$

e não há previsão de concavidade para o formato da água no balde, ou seja, não formaria o parabolóide de revolução.

A3.2.3. Água parada em relação ao solo e balde + corpos celestes girando ao redor de um eixo

Consideremos a água em repouso com relação ao solo, o balde girando com velocidade $\vec{\omega}_{cT} = \omega_{cT} \hat{z}$ e os corpos celestes girando com velocidade angular $\vec{\Omega}_{GT} = \Omega_{GT} \hat{z}$, ambos em relação ao mesmo eixo (vide figura 4).

As velocidades angulares do balde e do universo podem ser distintas entre si, ou seja, não há restrições para seus movimentos em torno de um eixo.

A equação de movimento na Mecânica Relacional é expressa por:

$$d\vec{P} + d\vec{E} - \Phi_\infty dm_{gk} \vec{a}_{kT} = \vec{0}$$

sendo

$$\vec{a}_{kT} = \vec{a}_{cT} = -\omega_r^2 u \hat{u}$$

e

$$\omega_r = (\omega_{cT} - \Omega_{GT})$$

Então, tem-se:

$$d\vec{P} + d\vec{E} - \Phi_{\infty} dm_{gk} \omega_r^2 u \hat{u} = \vec{0}$$

$$\begin{cases} \Phi_{\infty} dm_{gk} \omega_r^2 u - dE \operatorname{sen} \alpha = 0 \\ (dE) \operatorname{cos} \alpha - dP = 0 \end{cases}$$

$$dE = \frac{\Phi_{\infty} dm_{gk} \omega_r^2 u}{\operatorname{sen} \alpha}$$

$$\Phi_{\infty} dm_{gk} \omega_r^2 u = dm_{gk} g t g \alpha$$

$$\frac{dz}{du} = \frac{\Phi_{\infty} dm_{gk} \omega_r^2}{g}$$

$$z = \frac{\Phi_{\infty} dm_{gk} \omega_r^2}{2g} u^2$$

Portanto:

$$z = \frac{\Phi_{\infty}}{2g} (\omega_{cT} - \Omega_{GT})^2 u^2$$

e, diferente do resultado da Mecânica Clássica, a Mecânica Relacional prevê que a água assume um formato de parabolóide no caso em que a água está em repouso, o balde e os corpos celestes estão em rotação (não necessariamente com as mesmas velocidades angulares).