

**Os conceitos de espaço e de tempo como protagonistas no ensino de Física: um relato sobre uma sequência didática com abordagem histórico-filosófica<sup>+</sup>**

---

*Ueslei Vieira dos Reis<sup>1</sup>*

Colégio Estadual de Magé  
Universidade Serra dos Órgãos  
Teresópolis - RJ

*José Claudio de Oliveira Reis<sup>2</sup>*

Universidade Estadual do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro – RJ

**Resumo**

*O presente trabalho busca discutir a importância de abordar histórica e filosoficamente os conceitos de espaço e tempo na educação básica e apresentar os relatos de uma experiência realizada em sala de aula. Para isso, realizou-se uma pesquisa-ação com a finalidade de avaliar a relevância de determinadas estratégias pedagógicas onde discutiu-se não apenas a ciência, mas também o processo de construção do conhecimento científico. Após uma vasta pesquisa histórica sobre esses conceitos elegeu-se alguns momentos, que julgamos os mais relevantes dentro da Educação Básica, para serem abordados em sala de aula. Esses momentos foram: 1) Galileu e a geometrização do espaço e tempo; 2) A Mecânica de Newton e o espaço e tempo absoluto; 3) A Relatividade de Einstein e o espaço e tempo relativo. À luz desse panorama histórico e filosófico, construiu-se uma sequência didática que foi implantada e avaliada através de uma pesquisa-ação com os seguintes itens: contextualização histórica; apresentação/Problematização dos conceitos; realização de atividades; atividade de avaliação. Esse processo permitiu que ao final de um ano letivo tivéssemos um farto material para análise e avaliação.*

---

<sup>+</sup> The concepts of space and time as protagonists in the teaching of Physics

\* Recebido: dezembro de 2015.  
Aceito: agosto de 2016.

<sup>1</sup> E-mail: [uesleifisico@gmail.com](mailto:uesleifisico@gmail.com)

<sup>2</sup> E-mail: [jclaudio@uerj.br](mailto:jclaudio@uerj.br)

**Palavras-chave:** *Ensino de Ciências; História e Filosofia da Ciência; Natureza da Ciência; Espaço e tempo.*

### **Abstract**

*This paper discusses the importance of addressing historical and philosophical concepts of space and time in Basic Education. For this, the present survey was carried out in order to assess the relevance of certain pedagogical strategies which discusses the construction of science to light aspects of Nature of Science. After an extensive historical research on these concepts, some moments we consider to be more relevant within the Basic Education, to be addressed in the classroom, were elected. These moments are: 1) Galileo and the geometrization of space and time; 2) The Mechanics of Newton and the space and absolute time; 3) The Relativity of Einstein and the space and relative time. In the light of this historical and philosophical panorama, a teaching sequence was implemented and constantly evaluated considering the following items: historical background; presentation / questioning of concepts; performing activities; and evaluation. This process allowed us to have an extensive material for analysis and evaluation by the end of the school year.*

**Keywords:** *Education on Science; History and Philosophy of Science; Nature of Science; Space and Time.*

## **I. Introdução**

Por muitos anos diversos professores apresentaram aos alunos uma física dogmática, formulesca e produtora de verdades absolutas. Sem realizar discussões acerca dessa ciência, as aulas não apresentavam como o processo de construção do conhecimento científico ocorre, seus processos históricos e até mesmo como um conceito científico se modifica e se transforma ao longo da história humana (PÉREZ *et al.*, 2001, p. 26). Aliado a essa problemática, normalmente a física apresentada no ensino secundário não ultrapassa a segunda metade do século XIX, deixando de lado todo o conhecimento da Física Moderna e Contemporânea. Apesar desses problemas, atualmente existem diversas tentativas – em muitos casos, bem executadas – que trazem uma proposta diferenciada de, não apenas apresentar os conhecimentos da física moderna, mas de apresentar uma contextualização histórica sobre determinado conhecimento científico, buscando, com isso, promover nos alunos uma reflexão maior sobre o próprio processo de construção de um conhecimento científico.

O presente trabalho defende o uso da História e da Filosofia da Ciência (HFC) no ensino de Física justamente por permitir que não apenas os conteúdos disciplinares sejam ensinados, mas também o de colaborar para que seja realizado um processo de construção desses conhecimentos juntos aos estudantes, ou seja, que os alunos possam não apenas aprender ciência, mas também a pensarem a ciência (BRAGA, GUERRA, REIS, 2012, p. 212). Com isso, é possível que os mesmos percebam que a ciência é um processo de construção desenvolvida por humanos e que os conhecimentos científicos se alteram ao longo da história, seja através de um processo evolutivo (não necessariamente em um sentido progressivo) ou revolucionário (CHALMERS, 1997, p. 123). A História e a Filosofia da Ciência também podem auxiliar em quesitos importantes no processo de ensino/aprendizagem, tais como: a compreensão dos alunos de certos conteúdos específicos de uma determinada ciência; levar os professores a compreenderem as dificuldades de aprendizagem dos estudantes; a “humanização” da ciência; o tratamento interdisciplinar dos conteúdos e a compreensão da natureza do conhecimento científico; auxiliar na fundamentação teórica da Didática das Ciências. Além disso, a HFC tem importância intrínseca como “herança cultural da humanidade” (FERREIRA; MARTINS, 2010, p. 5)

Baseando-se nessas premissas, este trabalho apresenta uma síntese de um trabalho de mestrado que foi desenvolvido ao longo de um ano letivo em uma turma da primeira série do Ensino Médio de uma escola pública do estado do Rio de Janeiro. Nesse trabalho foi desenvolvido um percurso histórico (GALILI, 2012, p. 1292), sobre os conteúdos da mecânica, mas tratando os conceitos de espaço e de tempo como protagonistas principais para discutir os conteúdos curriculares dessa série. Os conceitos de espaço e de tempo foram escolhidos por estarem presentes em diversos momentos ao longo da história da Física, principalmente na Física de Galileu e de Newton e na Relatividade de Einstein, conteúdos que seriam abordados ao longo desse ano letivo. Além disso, seria possível, através de um percurso histórico desses conceitos, discutir alguns aspectos da Física Moderna – a Relatividade de Einstein – de uma forma gradual, promovendo, com isso, a reflexão dos alunos sobre a transitoriedade<sup>3</sup> dos conceitos científicos.

## II. Os conceitos de espaço e de tempo

O que é o tempo? O que é o espaço? Não se pode negar que em algum momento de nossas vidas já paramos para realizar esses questionamentos. Afinal, nos relacionamos com essas categorias físicas a todo momento. Seja através da mensuração de um tempo cronológico ou de um espaço métrico, seja através da literatura ou de obras cinematográficas de ficção científica, seja ainda através de representações artísticas ou pictóricas desenvolvidas ao longo da história da humanidade. Apesar de não conseguirmos dizer com poucas palavras o que é o

---

<sup>3</sup> Transitoriedade está sendo utilizada para definir as mudanças que ocorrem com os conhecimentos científicos, seja através de uma revolução ou evolução.

tempo ou o que é o espaço, uma coisa é fato, eles fazem parte do imaginário cultural de toda sociedade.

A busca pelo significado de tais categorias não é recente. Desde a antiguidade, principalmente a grega, filósofos e pensadores realizaram tentativas de explicar o que de fato eles são (JAMMER, 2010; MARTINS, 2007). Mesmo que não possamos dizer o que de fato é o espaço e o tempo, podemos conjecturar sobre eles. Talvez, por esse motivo, o tempo e o espaço físicos sejam conceitos estabelecidos e desenvolvidos tendo como base dois fatores essenciais: o momento histórico e o contexto social. Assim, é preciso demarcar muito bem o contexto histórico e social ao qual estamos nos referindo. Em relação à Física – ou Filosofia Natural – tais conceitos são apresentados com diversas características diferentes ao longo da história (MARTINS; ZANETIC, 2002; JAMMER, 2010). Podemos realizar, por exemplo, um recorte histórico em três momentos específicos: 1) A Geometrização do espaço e do tempo; 2) A controvérsia entre Newton e Leibniz acerca da natureza do espaço e do tempo e; 3) A Relatividade do espaço e do tempo nos trabalhos de Einstein.

Não se pode datar com precisão as origens dos conceitos de espaço e tempo. Porém, desde o nascimento da civilização humana, o homem realiza questionamentos sobre o meio no qual ele vivia e o seu próprio percurso de vida. Algumas sociedades da antiguidade, tais como a grega, a egípcia, a persa, a babilônica, a judaica e as orientais fizeram afirmações acerca do que hoje compreendemos como espaço e tempo (JAMMER, 2010). Porém, para não voltar muito no tempo, começaremos nossa história em meados do século XIII, uma época em que as ideias platônicas eram compartilhadas entre diversos filósofos europeus (HIRST, 2013). Nesse período, no entanto, começaram a surgir algumas ideias que apresentavam uma visão um pouco diferente do platonismo. Essa mudança de estilo de pensamento se concretizou com os trabalhos de Tomás de Aquino, que realizou uma unificação entre pensamentos da Igreja católica com a lógica grega aristotélica (HIRST, 2013).

O interessante a se falar sobre Aquino é que em seus trabalhos ele apresentava o tempo e o espaço como se fossem qualidades inerentes aos corpos, adjetivos dos corpos e do movimento. Além disso, defendeu a existência de três tipos de tempo: o tempo dos homens, o tempo dos anjos e o tempo de Deus. Nessas definições é percebido o caráter adjetivo dado ao tempo (MARTINS; PACCA, 2004). Nesse período, o espaço também era representado apenas de forma qualitativa carente de dimensões, ou seja, não apresentavam aspectos mensuráveis ou algum rigor matemático. A arte bizantina, por exemplo, apresentava um paisagismo arquitetônico que não circunscreviam o espaço, fazendo apenas uma alusão a ele (SANTAELLA, 2001). Tal característica era condizente a física aristotélico-tomista, em que o espaço topológico e topográfico estava dividido em hierarquias de perfeição. O céu era o lugar das coisas eternas e imutáveis, enquanto que a Terra era um lugar de transformações e imperfeições.

Essa postura começou a sofrer alterações ainda no final da Idade Média através do “*resgate*” de algumas obras da antiguidade grega (HIRST, 2013). Na escola de Mértton o es-

tudo geométrico dos movimentos, através da geometria euclidiana, estabeleceu a regra da velocidade média (SAPUNARU, 2012). Na Itália, Frei Antonine pregava em muitos de seus sermões sobre uma ciência recém chegada, a tal Perspectiva (JANSON, 1992). Toda a riqueza cultural na Itália renascentista e os estudos geométricos colaboraram para que um novo olhar para o espaço e o tempo fosse iniciado, dando início ao processo de geometrização de tais categorias.

Ao estudar a queda dos corpos, Galileu utiliza muitos de seus conhecimentos sobre geometria e perspectiva para contribuir ainda mais com o estabelecimento desse estilo de pensamento (GALILEI, 2010). Além de ter relacionado o tempo e o espaço ao estudar o movimento, ele representou tais grandezas com um segmento de reta. Tal fato fez com que, além do espaço, o tempo também fosse admitido pela geometria e assim, pudesse ser estudado pelas regras da matemática (MARTINS, 2007). Utilizando essa concepção, seus conhecimentos relacionados a arte da perspectiva, a regra de Merton e a experimentação, o matemático italiano desenvolveu a lei matemática da queda dos corpos, mostrando, inclusive, que o espaço percorrido por um corpo em queda livre é diretamente proporcional ao quadrado do tempo e que a velocidade é diretamente proporcional ao tempo. Esse processo mostra ainda que o desenvolvimento de um conhecimento científico não é produzido unicamente com uma suposta “descoberta” a partir da realização de um experimento.

Essa visão de geometrização do espaço e tempo não foi algo exclusivo de Galileu, o próprio Kepler já se preocupava em apresentar algum modelo planetário que utilizasse a regra da geometria. Em seus primeiros modelos ele utilizou os sólidos de Platão para posicionar os planetas em suas órbitas em torno do Sol (PRAXEDES; PEDUZZI, 2009). Além disso, um pouco mais tarde, René Descartes contribuiu ainda mais para a geometrização do espaço ao desenvolver uma relação entre a álgebra e a geometria (RONAN, 1987). Com o seu estilo de pensamento pautado no mecanicismo, Descartes apresentou a ideia de utilizar dois eixos que se intersectam para especificar a posição de um ponto ou objeto em uma superfície, ou seja, o plano cartesiano. Todos esses processos que duraram mais de um século, contribuíram para que o espaço e o tempo deixassem de ser meros adjetivos associados aos corpos – e aos movimentos - e se tornassem entidades matematizadas e geometrizadas.

Não há dúvidas que as regras da geometria acabaram se tornando um ferramental de extrema importância para o desenvolvimento da ciência naquele momento. Muitos filósofos naturais adotaram essa nova forma de produzir conhecimento, inclusive na busca de uma equação matemática que descrevesse com precisão a órbita elíptica que os planetas ao redor do Sol (ROSA, 2012). Um desses filósofos foi o inglês Isaac Newton, que além de ter desenvolvido uma explicação para a órbita elíptica dos planetas ao redor do Sol, conseguiu desenvolver relações matemáticas (geométricas) que explicassem o movimento desses corpos celestes, incluindo até mesmo o movimento dos cometas (NEWTON, 2002). Na Física de Newton, o que rege o movimento orbital é uma força mútua (agindo a distância) e que possui uma relação direta com a massa dos corpos e com a distância entre eles. Assim, o que mantém a lua

orbitando ao redor da Terra também faz com que um corpo sofra uma queda ao estar próximo a superfície terrestre.

Apesar de não ter explicado porque essa força agia a distância, uma coisa era um fato na mecânica newtoniana: as forças sempre agiam em pares, por exemplo, a Lua e a Terra estão interagindo entre si e exercendo força uma sobre a outra. No entanto, existiam casos em que não havia um agente a ser relacionado com o fenômeno observado. Em um experimento apresentado por Newton, conhecido como “balde de rotação” (RYNASIEWICZ, 2014), não existia algum corpo ao qual pudesse ser relacionado a curvatura que a água fazia, mesmo quando estivesse em repouso em relação ao balde. Por esse motivo, Newton defendeu a existência de um espaço que fosse existente, absoluto e imutável, já que o espaço absoluto seria um referencial inercial perfeito, onde todos os corpos poderiam ser relacionados a ele. Seguindo essa mesma lógica, o filósofo natural, também eleva o tempo ao status de absoluto (MARTINS, 2007). O tempo absoluto de Newton era a duração dos eventos. Assim, não importava a posição de dois observadores, nem o sistema que eles utilizassem para medir o tempo, os dois sempre concordariam com a duração de algum evento<sup>4</sup> (MARTINS; PACA, 2004).

Nessa época, o tempo e o espaço absoluto de Newton não era o estilo de pensamento dominante, era apenas uma das muitas ideias existentes. Nicole d’Oresme, Petrus Johannis Olivi, Gerardus Odonis, dentre outros, apresentaram ideias que fugiam da concepção aristotélica, que era muito aceita entre os escolásticos da época (DISALLE, 2009). Além disso, Gottfried Leibniz, contemporâneo a Newton, criticou as ideias newtonianas e defendeu que o espaço e o tempo eram entidades puramente relativas, categorias idealizadas pelo homem para relacionar a coexistência dos corpos e a sucessividade dos eventos (BENTES, 2010). Ao criticar o posicionamento de Newton, tanto físico quanto metafísico, Leibniz defendeu que o espaço e o tempo não poderiam ser absolutos nem tampouco existentes à priori (ELIAS, 1998). Essa divergência de ideias acaba nos levando a fazer o seguinte questionamento: o tempo e o espaço existem ou são frutos do intelecto humano? São apenas entidades idealizadas para que possamos nos relacionar com os corpos a nossa volta, tanto em sua coexistência quanto em sua sucessividade? Se eles existem, são imutáveis na presença dos corpos?

Apesar desses questionamentos, com o passar do tempo e com o sucesso da mecânica newtoniana nos anos seguintes, o espaço e o tempo newtoniano acabaram se tornando o estilo de pensamento dominante por quase 200 anos (MARTINS, 2007). É importante observar aqui a importância da validade de um conhecimento científico pelos pares e portadores do estilo de pensamento. Mesmo que a princípio a mecânica newtoniana tenha sido alvo de críticas, com o tempo ela foi defendida por pensadores da época e validada pelos portadores do novo estilo de pensamento. No entanto, em meio a esse período ainda surgiu a ideia de forças fictícias para explicar casos como o do balde de rotação, surgiu a mecânica relacional para

---

<sup>4</sup> A palavra “evento” se entende como um acontecimento pontual, sem “duração”, não se trata da noção de “evento relativístico”

explicar esses casos sem a necessidade de recorrer ao uso das forças fictícias (GOMES, 2007) e as leis da Termodinâmica e da Mecânica Estatística, trazendo uma nova dimensão ao conceito de tempo (MARTINS, 2007).

Nesse trabalho não realizaremos uma discussão maior no que se refere a contextualização histórica sobre o desenvolvimento da Termodinâmica e da Mecânica Estatística, já que nosso objetivo principal é discutir esses conceitos em uma turma do 1º ano do Ensino Médio, em que o assunto a ser estudado é a mecânica de Galileu e Newton e a Relatividade de Einstein, mas ao longo do século XIX começaram a surgir novas ideias que divergiram dos conceitos de espaço e tempo apresentados por Newton. O século XIX foi marcado principalmente pelo colapso dos impérios da Espanha, China, França, Sacro Império Romano Germânico e Mongol, marcando o fim do absolutismo e a instauração dos governos democráticos. De certa forma, isso acabou favorecendo o crescimento de influência do império britânico, russo, japonês e norte-americano. No campo econômico essa fase foi marcada pela consolidação do capitalismo. Tais fatos acabaram estimulando conflitos militares, mas também avanços científicos e tecnológicos. Com toda essa mudança no cenário mundial, esse século acabou se tornando uma era de invenções e desenvolvimentos científicos – com significativo desenvolvimento nos campos da Matemática, Física, Química, Biologia, Engenharia Elétrica e Metalúrgica - construindo as bases para os avanços tecnológicos do século XX (HIRST, 2013). Foi nesse contexto histórico que foi desenvolvido a Relatividade de Albert Einstein.

A primeira característica na qual Einstein se afasta das ideias de Newton está relacionada com a ideia de simultaneidade. Para Einstein, dois observadores com velocidade relativa nunca vão concordar acerca da simultaneidade de dois eventos salvo o caso em que ambos ocorram na mesma posição. A segunda característica está relacionada com a dependência do espaço e tempo, já que apesar deles estarem relacionados pelas transformadas de Galileu, de acordo com Newton, eles são entidades independentes uma da outra. Na relatividade de Einstein, o tempo e o espaço se tornaram algo único chamado espaço-tempo, em que um pode afetar o outro. A terceira característica está relacionada com a relatividade do espaço-tempo devido a velocidade de um observador em relação a outro. Assim, o tempo pode passar de forma diferente para um dos observadores em relação ao outro, assim como às dimensões do espaço observado também é relativo (EINSTEIN, 2001).

A quarta característica abala com todo o sistema newtoniano de espaço e tempo absoluto. Para a Relatividade Geral de Einstein, o espaço-tempo não seria algo imutável, muito pelo contrário, ele se encurvaria (deformaria) na presença de um corpo, isso conseguiu até mesmo explicar porque um corpo é atraído por outro. Segundo a TRG, a lua fica em órbita ao redor da Terra, não porque existe uma força de atração entre os dois, mas porque a Terra deforma o espaço ao seu redor e a lua se movimenta através dessa deformação mantendo-se, com isso, em órbita ao redor da Terra. Além disso, assim como o corpo altera a estrutura do espaço-tempo, o espaço-tempo também altera a matéria dos corpos e a energia (EINSTEIN; INFELD, 2008).

A deformação no espaço ao redor dos corpos também altera a medida de tempo nessa deformação. Assim, se um observador estivesse em repouso em uma região com uma certa gravidade e outro observador estivesse em outra região com gravidade diferente, ambos não iriam concordar com o intervalo de tempo medido com seus relógios – previamente sincronizados – entre dois eventos. Com a relatividade de Einstein, novamente os conceitos de espaço e tempo sofreram uma mudança conceitual. Apesar do estilo de pensamento de Einstein ter surgido e servido para explicar muitos fenômenos observados em sua época e até hoje, ela custou um certo tempo para ser aceita e validada pela comunidade científica. Não se pode esquecer que a ciência possui um caráter de validação e que um conhecimento científico só é dito científico quando é aceito e validado pelos pares e pelo coletivo de pensamento (FLECK, 2010), mesmo que não haja concordância com outro coletivo de pensamento.

Ainda hoje, mesmo que o estilo de pensamento einsteiniano seja o aceito e validado pela comunidade científica, a Mecânica Newtoniana ainda continua sendo utilizada por diversas áreas, principalmente em caráter ferramental. Além disso, em nossa vida diária estamos habituados a utilizar a ideia de tempo e espaço absoluto, que o tempo é sempre simultâneo irreversível e uniformemente bem distribuído e que o espaço é apenas um palco para a ocorrência dos eventos. Atualmente existem discussões sobre eventos cósmicos, tais como buraco negro e buraco de minhoca bem como aspectos da mecânica quântica que, de certa forma, abriram caminho para novos questionamentos sobre o tempo e o espaço. Como visto ao longo de toda essa história, a ciência é dinâmica e transitória e o que hoje está bem estabelecido pode vir a mudar em um futuro próximo.

### **III. Os conceitos de espaço e de tempo em sala de aula**

Ao apresentar o percurso histórico no módulo anterior, é percebido que os conceitos de espaço e de tempo são transitórios, ou seja, eles se alteram ao longo da história e, assim como toda a ciência, eles passam por processos de mutação e evolução. No entanto, é importante novamente destacar que essa evolução não está sendo aqui abordada como um caráter de progresso – do pior para o melhor – mas em sentido de que as mudanças ocorrem de forma lenta e processual. Além disso, que os conceitos apresentados nesse texto, assim também como toda a ciência, são integrados socialmente, com características atribuídas por homens que estavam imersos em sociedades que formaram suas visões de mundo. A técnica, a arte, a religião, a filosofia e a ciência são criações humanas que possuem características distintas, mas que fazem parte de um *todo-comum* que molda e é moldada pela visão de mundo de diversos homens de suas respectivas áreas ou não.

Ao longo dessa seção será apresentado um módulo pedagógico que foi desenvolvido e aplicado em uma turma da 1ª série do Ensino Médio. Apresentaremos atividades elaboradas para discutir os conceitos de espaço e tempo em sala de aula através uma perspectiva histórico-filosófica. Para isso, apresentaremos o caráter transitório desses conceitos e seus estilos de



pensamentos, a integração com a sociedade, as controvérsias e o caráter de validação de um conhecimento científico.

É importante destacar que por se tratar de uma escola da rede estadual do Rio de Janeiro existe um currículo mínimo a ser cumprido (SEEDUC, 2012). O currículo mínimo de Física do Estado do Rio de Janeiro surgiu com uma proposta de apresentar a Física de uma forma contextualizada, tendo como objetivo o desenvolvimento nos alunos de habilidades e competências que estejam ligados não apenas aos conteúdos tradicionais de Física, mas também aos relacionados a diversos elementos de Natureza da Ciência, que inclusive é abordado por autores (ABD-EL-KHALICK, 2012; ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2000) e nacionais (FORATO, 2009; FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011), tais como: a) A ciência produz conhecimento baseado em evidências empíricas; (b) existem fatores comuns a todas as ciências (normas, pensamento lógico e métodos); (c) a experiência não é o único caminho para o conhecimento; (d) a ciência usa tanto o raciocínio indutivo como o teste hipotético-dedutivo; (e) a produção do conhecimento científico é parcialmente baseado em inferência humana, imaginação e criatividade; (f) a ciência é integrada socialmente e culturalmente; e que (g) o conhecimento científico é provisório, durável e de autocorreção, etc.

A pesquisa foi realizada em uma escola público estadual no município de Magé, na baixada fluminense no Rio de Janeiro. A escola em questão se trata do Colégio Estadual de Magé e possui cerca de 700 alunos, sendo que a maior concentração deles se encontra no turno da manhã com cerca de 350 alunos divididos em 13 turmas. No 2º turno se concentra cerca de 300 alunos também divididos em 13 turmas. O 3º turno possui cerca de 50 alunos devidos entre em 3 turmas, uma para cada série do Ensino Médio regular que é oferecido nesse horário. O colégio oferece o Ensino Médio regular nos três turnos. Por esse motivo, possui alunos com a faixa etária entre 14 e 18 anos, sendo que desses alunos, cerca de 40% são do sexo feminino e 60 % são do sexo masculino. Grande parte dos alunos pertence a classe média baixa e classe média.

A escola possui acesso à internet com laboratório de informática, sala de diretoria, sala de professores, quadra de esportes coberta, cozinha, refeitório, despensa, biblioteca, banheiro fora e dentro do prédio com chuveiros, banheiro, dependências e vias adequadas a alunos com deficiência ou mobilidade reduzida, sala de secretaria, almoxarifado, auditório, pátio coberto, pátio descoberto e ampla área verde. Além das dependências, o colégio possui sala de TV com reproduzidor de DVD e antena parabólica, projetor multimídia (Datashow), aparelho de som e filmadora.

Dentre as 29 turmas do Ensino Médio regular, a escola possui 10 turmas com alunos que estão na 1ª série. Dessas 10 turmas, 5 são do turno matutino, 4 do vespertino e 1 do noturno. Todas essas turmas poderiam fazer parte da pesquisa realizada nesse trabalho. No entanto, o professor e pesquisador desse trabalho só atuava como regente em uma dessas turmas. Por esse motivo, todas as atividades realizadas e apresentadas nesse trabalho foram desenvolvidas nessa turma, que possuía cerca 35 alunos, com a faixa etária de 14 anos de idade. Dos

35 alunos, 14 eram do sexo masculino e 21 eram do sexo feminino. Grande parte dos alunos pertenciam a classe média baixa e classe média. Além disso, quase todos os alunos eram oriundos de escolas municipais da região.

As aulas de Física sempre ocorriam nas segundas-feiras, nos dois últimos tempos da tarde, sempre após o intervalo. Mesmo sendo no fim da tarde, a sala não ficava exposta ao sol e era climatizada com ar condicionado. Porém, quase sempre os alunos chegavam bem agitados, devido a ser as últimas aulas após o intervalo.

### **III.1 A metodologia de investigação**

A investigação em ciências sociais, principalmente na área de educação e ensino, difere da pesquisa nas áreas ditas exatas em diversos pontos. O ponto mais importante a ser destacado é que a investigação na área social possui preferência pela abordagem qualitativa. Por esse motivo, é importante conhecer bem a forma que a investigação será conduzida e que servirá de orientação para o investigador, sendo este um estilo de pensamento a ser estabelecido. Tal estilo de pensamento consistirá em “um conjunto aberto de asserções, conceitos ou proposições logicamente relacionadas e que orientam o pensamento e a investigação” (BOGDAN; BIKLEN, 1994)

Qualquer tipo de investigação se baseia em uma orientação. A teoria ajuda a dar coerência aos dados e permite que o investigador vá além de um amontoado pouco sistemático e arbitrário de acontecimentos (BOGDAN; BIKLEN, 1999). Existem diversos tipos de investigação qualitativa, dentre elas, investigação qualitativa com Interação Simbólica. Nessa abordagem encontra-se a asserção de que a experiência humana é mediada pela interpretação. Nem os objetos, nem as pessoas, situações ou acontecimentos são todos de significado próprio. Ao invés disso, o significado é atribuído e construído através das interações. Com o intuito de encontrar uma abordagem que fosse além da mera análise de situações, fizemos uso de uma proposta de pesquisa chamada “pesquisa-ação”.

Como o próprio nome já diz, a pesquisa-ação procura relacionar a pesquisa à prática. Ou seja, ela busca desenvolver o conhecimento e a compreensão como parte da prática. Por ser uma pesquisa em que o pesquisador é um participante engajado na realização da ação, ela costuma ser utilizada em situações em que a pessoa da prática pretende melhorar a compreensão da sua própria prática (ENGEL, 2000). Segundo Guido Irineu Engel (2000), “a pesquisa-ação surgiu da necessidade de superar a lacuna entre teoria e prática. Uma das características deste tipo de pesquisa é que através dela se procura intervir na prática de modo inovador já no decorrer do próprio processo de pesquisa e não apenas como possível consequência de uma recomendação na etapa final do projeto”.

Ainda segundo o autor, a pesquisa-ação no ensino tem como objeto de pesquisa as ações humanas em certas situações que são percebidas pelo pesquisador que são passíveis à mudança e que exigem uma resposta prática (ENGEL, 2000). Para David Trip (TRIPP, 2005), a pesquisa-ação trata-se ainda de uma forma de investigação que utiliza outras técnicas de

pesquisa que atendem aos critérios comuns das pesquisas acadêmicas a fim de melhorar a prática. Sendo assim, ao mesmo tempo que pesquisa-ação altera o que está sendo pesquisado ela é limitada pelo contexto e pela ética da prática. Ainda segundo Tripp (2005), a pesquisa-ação ainda apresenta dez características que estão entre a prática rotineira e a pesquisa científica, são elas: inovadora, contínua, proativa estrategicamente, participativa, intervencionista, problematizada, deliberada, documentada, compreendida e disseminada. Ou seja, tal forma de pesquisa dialoga claramente com os objetivos desse trabalho.

A pesquisa-ação pode ser realizada através de um ciclo de que oscila entre o planejamento da prática, a implementação e a avaliação da mesma.



Fig. 1 – Ciclo de Pesquisa-Ação (adaptado de Tripp, 2005, p. 453).

Cada uma dessas etapas possui ainda um plano de ação que pode ser sintetizada pela tabela apresentada por Tripp (2005):

Quadro 1 – Representação do ciclo de pesquisa-ação.

Sequência da Ação	Ação realizada no campo da...	
	Prática	Pesquisa
Planejamento	De uma mudança na prática	Da avaliação de resultados.
Implementação	De mudança na prática	Da produção de dados
Avaliação		a) da mudança da prática e b) do processo de pesquisa-ação

Fonte: Adaptado de Tripp, 2005, p. 453.

Com isso, neste trabalho estaremos seguindo essa metodologia de investigação. Ou seja, em cada uma das práticas estaremos realizando um planejamento, uma implementação e

uma avaliação para apontar os pontos positivos e as indicações de mudanças na prática. Por isso, a cada episódio histórico apresentado estaremos considerando as avaliações realizadas nas atividades implementadas no(s) episódio(s) anterior(es).

#### IV. Desenvolvimento e aplicação do módulo pedagógico

Com a proposta de desenvolver, aplicar e avaliar um módulo didático que utilize os conceitos de espaço e tempo como protagonistas no ensino de física, foi utilizado a metodologia de Pesquisa-Ação (ENGEL, 2000), já que se trata de uma ótima ferramenta que irá ajudar a alcançar os objetivos desse trabalho. O módulo em questão foi aplicado ao longo de 3 bimestres letivos em uma turma de um colégio público estadual da cidade de Magé, na baixada fluminense, no Rio de Janeiro.

Para desenvolver o módulo e avaliar cada etapa do processo, a proposta didática foi dividida em cinco momentos diferentes: 1) Atividade de Sondagem; 2) Atividades sobre a geometrização do espaço e do tempo; 3) Atividades sobre o espaço e tempo absoluto de Newton; 4) Atividades sobre a Relatividade de Einstein; 5) Atividade de encerramento.

##### IV.1 - Atividade de Sondagem

Inicialmente foi desenvolvido uma atividade de sondagem, visando o conhecimento dos estudantes, seus perfis epistemológicos, o que eles compreendem sobre a ciência e o que eles compreendem sobre os conceitos de espaço e de tempo. Ao ter sido realizado uma discussão inicial sobre o que é a Física e quais são os objetos de estudo dessa ciência, foi aplicado um questionário com três perguntas abertas sobre o que é a ciência, o trabalho realizado pelos cientistas e os conceitos de espaço e de tempo. Além dessas questões, era pedido também que os estudantes fizessem uma representação de como eles imaginavam que era o espaço e o tempo. Algumas dessas imagens se encontram logo abaixo.



Fig. 2 – Representação do espaço e tempo desenvolvida pelos alunos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da realização dessa atividade, foi percebido que a classe era muito heterogênea, principalmente por ser uma turma em que os alunos vieram de diversos tipos de escolas. Contudo, a maioria dos alunos possuem uma visão de biólogo como modelo de cientista, já que definiram a ciência como o estudo dos seres vivos e argumentarem que o cientista realiza

e produz conhecimento através de estudos e pesquisas. Mesmo que não seja o foco principal desse trabalho, era interessante saber a visão que os alunos possuíam sobre a figura do cientista, para direcionar o discurso realizado pelo professor em sala de aulas.

Outros pontos que foram possíveis de observar também é que para os alunos o espaço pode ser considerado tanto o espaço sideral, quanto uma distância entre os corpos ou ainda como um deslocamento entre dois pontos. O tempo, na concepção deles, pode apresentar diversas características, mas todas elas podem ser representadas através de um relógio. Claro que essas concepções não representam 100% da turma, já que, como dito anteriormente, existem muitas outras ideias levantadas pelos estudantes, mas foram os pontos de vista que mais se destacaram.

É importante destacar que o objetivo desse trabalho não é o de alterar as concepções apresentadas pelos alunos, mas problematizar a ciência, o processo de produção do conhecimento e mostrar que o espaço e o tempo são conceitos repletos de significados e que tais conceitos, assim como toda a ciência, é transitório, sendo difícil, inclusive, chegar a uma concepção única acerca deles.

Logo após essa atividade de sondagem, e já conhecendo o perfil epistemológico dos alunos, foi iniciada uma sequência de atividades através do recorte histórico apresentado sobre os conceitos de espaço e de tempo. Para isso, foi utilizado o referencial teórico de Igail Galili (2011) em relação a construção de um módulo didático que levasse o aluno a realizar um percurso histórico através do desenvolvimento de um determinado conceito científico. Sendo assim, em cada um dos momentos históricos foi realizado a seguinte sequência didática: Contextualização histórica; Apresentação/Problematização dos conceitos; Realização de Atividades; Atividade de Avaliação.

Dentre as atividades que foram desenvolvidas e realizadas, encontram-se: leitura de textos, produção textual, aulas expositivas, exibição de vídeos e simulações, indicação de vídeo aulas, produção de obras pictóricas, charges e histórias em quadrinhos, produção de vídeos. Essas atividades foram implementadas ao longo dos três bimestres letivos, algumas foram repetidas mais de uma vez e outras foram alternadas. A medida que as atividades foram realizadas foi feita uma ampla avaliação sobre os aspectos positivos e negativos, indicando, inclusive, as possibilidades de intervenção. Logo abaixo segue a sequência didática e os comentários sobre as atividades realizadas. No entanto, devido aos limites desse trabalho faremos apenas indicações sobre as atividades relacionadas aos conceitos de espaço e de tempo.

## **IV.2 A geometrização do espaço e do tempo**

Logo após a aplicação do questionário de sondagem, o professor iniciou uma discussão sobre a medição do espaço e do tempo e promoveu com os alunos uma pequena mostra sobre os relógios e réguas ao longo da história. Os alunos foram separados em pequenos grupos para que desenvolvessem os cartazes em um período extraclasse. Dessa forma, o professor poderia continuar a implementar as demais atividades, enquanto eles desenvolviam os

trabalhos da mostra. Com um total de seis temas (*1. O espaço e o tempo como medida; 2. As medidas de comprimento no Egito antigo; 3. A clepsidra; 4. A ampulheta; 5. Os relógios mecânicos; 6. A geometria*), os alunos expuseram seus trabalhos em um evento de física e matemática realizado na escola em um sábado letivo.

Enquanto os alunos desenvolviam esse trabalho, o professor continuou a sequência didática e apresentou um pequeno vídeo sobre a origem da cinemática <<https://youtu.be/nrCZvQD5PAk>> e realizou uma pequena discussão sobre a relação entre o espaço, o tempo e o movimento na equação da velocidade média e como eles eram compreendidos no final da Idade Média, principalmente pelos geômetras da escola de Mérton e pelos filósofos escolásticos seguidores de Tomás de Aquino. Foi percebido que em relação ao vídeo os alunos não tiveram muita dificuldade em compreender o que era a cinemática, já que, segundo eles, já haviam estudado isso no 9º ano. Quando questionados, eles ainda informam que nunca ouviram falar sobre essa ligação com a geometria e nem que a cinemática havia sido desenvolvida há tanto tempo. O professor apresentou a ideia de que o tempo e o espaço já eram estudados por um grupo chamado “*geômetras do movimento*” de uma escola conhecida como Merton. Que tal grupo utilizou a geometria para desenvolver os primeiros estudos “modernos” sobre o movimento e que eles não foram os únicos nesse empenho. Apesar disso, grande parte desse desenvolvimento ainda tinha como base o estilo de pensamento medieval – tomista-aristotélico – no qual o espaço e o tempo possuíam características de qualidades, ou seja, eram espécies de adjetivos que estavam intimamente ligados a caracterizar os corpos, entidades ou movimentos. O professor ainda destacou que isso começou a mudar com o renascimento artístico que ocorreu a princípio na Itália e depois no resto da Europa. Nesse momento, um aluno perguntou o que a arte tinha a ver com a Física. O professor respondeu dizendo que o contexto social da época permitiu que muitas mudanças ocorressem na forma de pensar no espaço, no tempo e no movimento, isso incluía a arte, a técnica, a filosofia, a ciência, dentre outros campos do saber. Após essa parte, o professor ainda definiu a ideia de velocidade como sendo a rapidez com que um corpo executa um movimento e passou alguns exemplos de movimentos e determinações de suas velocidades.

Nas aulas seguintes, o professor realizou uma aula expositiva sobre o contexto histórico em que Galileu viveu, suas motivações e seus trabalhos, incluindo as representações dos corpos celestes, e a descrição matemática do movimento de queda livre. Além disso, foi apresentado aos alunos uma pequena animação<sup>5</sup> de 30 minutos sobre a vida de Galileu. Os alunos gostaram da contextualização histórica, principalmente por ter mostrado coisas que eles já haviam estudado nas aulas de história, tais como as inovações técnicas, comerciais e artistas durante a renascença. Além disso, a apresentação de ideias que os alunos já possuíam (como o conceito de tempo para Tomás de Aquino) fez uma aproximação um pouco maior entre eles e o que foi apresentado. Aparentemente, grande parte dos alunos compreendeu que nesse período estava ocorrendo uma grande mudança na forma de pensar em diversos setores da socieda-

---

<sup>5</sup> Animação: A Vida de Galileu.

de, incluindo a ciência. Isso permitiu mostrar que a ciência é integrada socialmente. Entretanto, seria mais interessante que essa etapa começasse mostrando as representações artísticas desse período, destacando, principalmente, como o espaço era representado e suas alterações entre a idade média e a o início da idade moderna. Isso poderia fazer com que os alunos percebessem um pouco mais tudo que ocorreu nesse período e como isso foi importante para o desenvolvimento da geometrização do espaço e tempo, já que nesse momento eles não perceberam muito bem isso.

Ao longo do bimestre o professor continuou realizando aulas expositivas, leitura de textos (desenvolvidos pelo próprio professor, com base em leituras prévias, apresentadas no marco histórico desse trabalho) e discussões acerca dos tipos de movimento (o Movimento Uniforme e o Movimento Uniformemente Variado). Um dos textos apresentava as principais diferenças entre esses movimentos, incluindo a constância e variação da velocidade no decorrer do tempo e o espaço percorrido em relação ao tempo e a geometrização do tempo feito por Galileu em muitos de seus trabalhos. Ao comentar o texto e as questões<sup>6</sup> presentes no texto, o professor citou alguns exemplos sobre os movimentos uniformes (incluindo a manutenção da velocidade de um carro em uma pista) e do movimento uniformemente variado (a queda dos corpos). Após essa apresentação, ele mostrou aos alunos que Galileu, ao estudar os movimentos, representou os tipos de movimento através de figuras geométricas. Em seguida, falou que anteriormente à época de Galileu, o tempo, apesar de já ser utilizado como medida dos relógios, era tratado como qualidade ou característica dos corpos, mas que Galileu estava em um momento da história em que muitas coisas começaram a ser representadas por formas geométricas, era uma característica da arte da época. O professor lembrou até da aula que ele havia dado sobre a contextualização histórica em que falou sobre o desenvolvimento da perspectiva e a representação do espaço através das regras da geometria, havendo com isso uma geometrização.

Galileu fez uso desse conhecimento para representar o tempo através de um segmento de reta, ou seja, ele geometrizou o tempo. De acordo com ele, se o tempo fosse representado dessa forma poderia ser estudado pelas regras da matemática. Partindo desse ponto, o professor entregou um texto sobre o espaço e o tempo de Galileu, para que eles sentassem em grupo e discutissem sobre as diversas características relativas ao tempo e a geometrização do tempo e do espaço. Durante a leitura do texto muitos alunos não chamaram tanto o professor, apenas para tirar uma dúvida ou outra sobre palavras. No entanto, quando eles começaram a responder as questões veio uma verdadeira problematização sobre o tema. Primeiro, porque eles queriam saber o que era qualidade, visto que para grande parte dos alunos a palavra qualidade soava como se fosse uma coisa boa – uma característica positiva associada ao tempo - e não que o tempo fosse uma qualidade associada aos corpos. O professor precisou chamar a

---

<sup>6</sup> Questões: 01) Para você, o que significa o tempo ser uma qualidade dos corpos? 02) O que você entende por tempo geometrizado? 03) Como Galileu representa o tempo e o espaço? 04) Você acredita que conceitos como o tempo e o espaço podem ser interpretados de formas diferentes por diferentes cientistas (ou filósofos)? Defenda seu ponto de vista citando exemplos.

atenção da turma inteira e explicou que a qualidade se refere a uma característica dos corpos, e que o tempo seria uma dessas características. Citou alguns exemplos: “*um tempo de viver, um tempo de morrer, um tempo de crescer, etc. Quando falamos essas coisas, estamos dizendo que o tempo seria uma qualidade ou característica desse corpo*”.

O professor voltou ao texto novamente e explicou que Tomás de Aquino, por exemplo, classificava o tempo em três tipos: o tempo de Deus, o tempo dos anjos e o tempo dos homens. E que ele não pensava em um tempo que existia fora dos corpos (nesses três seres, no caso) mas que era algo interno ao corpo. Nesse momento, surgiu certa inquietação na turma. Aos olhos do professor, parecia que eles estavam um pouco incomodados com o tipo de pergunta, algo que não era tão simples de responder. Alguns alunos conseguiram compreender e responderam imediatamente, porém houve alguns grupos que chamaram o professor para que ele explicasse um pouco melhor. O professor foi e explicou novamente aos alunos, falando que o tempo como qualidade seria um adjetivo das coisas, ou seja, como se fosse um tempo para cada coisa, um tempo passado, o seu ontem, o tempo futuro, o seu amanhã, que tinha tempo para beber, comer, casar, se divertir, era um tempo para cada coisa que você fosse fazer. Enquanto eles respondiam as questões paravam para questionar ao professor sobre as respostas e tirar dúvidas. Isso, inclusive, foi muito proveitoso para a aula, já que o objetivo do questionário e do texto era o de problematizar o conceito de espaço e tempo geometrizado e isso acabou funcionando.

As atividades realizadas nesse primeiro episódio serviram para apresentar a mudança de estilo de pensamento dos conceitos de espaço e tempo. No estilo de pensamento escolástico-tomista-aristotélico, o tempo e o espaço eram qualidades inerentes aos corpos e/ou aos movimentos. Com o surgimento da perspectiva, o desenvolvimento da cinemática e a importância dada ao pensamento matemático nesse contexto, o tempo e o espaço passaram por um processo de geometrização. Com isso, foram admitidos pelas regras da geometria e ganharam uma externalidade própria que independia do movimento ou dos corpos. Tais atividades mostraram que a ciência é incluída socialmente, que ela possui um caráter transitório e que existe um grupo que pensa de forma similar – o coletivo de pensamento – através do estilo de pensamento dominante (FLECK, 2010). Além disso, o coletivo de pensamento possui normas e regras que são compartilhadas entre eles formando uma cultura científica (GALILI, 2011), tal como era na escolástica e como isso mudou com a “nova” ciência.

Apesar de certo sucesso, as atividades precisam ser revistas e, em um novo momento, reaplicadas de acordo com as seguintes observações: 1) É preciso que o caráter métrico do tempo e do espaço seja mais explorado. 2) É preciso que o cenário na Idade Média seja ampliado, mostrando, inclusive os movimentos artísticos nesse período e como o espaço era representado. Além disso, mostrar como ocorreu o desenvolvimento da perspectiva e como isso colaborou para que Galileu, dentre outros, tivesse uma visão geométrica (matemática) do mundo. 3) As visões tomistas precisam ser melhor exploradas para que os alunos compreendam melhor a mudança de estilo de pensamento entre o tempo e o espaço como qualidade e



o tempo e espaço como parâmetros matemáticos (geométricos). 4) Ao utilizar vídeos, tais como a “animação de Galileu Galilei” é preciso tomar muito cuidado, principalmente devido à valorização romântica dada ao personagem. Por isso, é interessante que além do vídeo tenha um texto de apoio apresentando uma história um pouco mais informada, para que os alunos possam até mesmo confrontar as ideias apresentadas nas duas versões. 5) Os alunos precisam compreender melhor que apesar de todos possuírem formas de pensar diferentes, existem normas a serem seguidas pelo coletivo de pensamento, e que para uma nova ideia ser aceita é preciso que ela seja avaliada e validada pelos portadores do estilo de pensamento vigente. Por esse motivo, é preciso que os textos e as atividades deixem isso mais evidente.

Quadro 2 – Episódio Apresentado.

<b>ATIVIDADE</b>	<b>MOMENTO</b>	<b>TEMPO (AULAS)</b>
1. A geometria do movimento: A cinemática	Exposição: “Os relógios e as réguas da história”	4 aulas
	Exibição de vídeo: “A cinemática” Link: <a href="https://youtu.be/nrCZvQD5PAk">https://youtu.be/nrCZvQD5PAk</a>	
	Discussão: O espaço, o tempo e o movimento.	
2. Galileu Galilei	Aula expositiva: contextualização histórica.	4 aulas
	Exibição da animação: “Grandes Personagens da História: Galileu Galilei”, EUA, 2010, 60min.; COR. Diretor: Jason Connery	
	Texto 1: Os trabalhos de Galileu e porque ele queria desenvolver uma nova cinemática. Responder em grupo às questões do texto 1.	
3. A cinemática de Galileu e suas concepções de espaço e tempo.	Aula Expositiva: “Galileu e a queda dos corpos”	6 aulas
	Exibição de simulação: O experimento do Plano Inclinado de Galileu.	
	Slide: O Movimento para Galileu; as transformadas de Galileu e a ideia de movimento relativo: seria um tempo e um espaço absoluto?	

Fonte: Elaborado pelo autor.

### **IV.3 O espaço e o tempo absolutos e a controvérsia entre Newton e Leibniz**

Ao terminar o episódio anterior, o professor como pesquisador de sua própria ação avaliou as atividades realizadas e fez alterações no planejamento que havia realizado para o segundo episódio, buscando um melhor aproveitamento para atender os objetivos dessa etapa, que dentre eles estavam: discutir a controvérsia entre Isaac Newton e Gottfried Leibniz sobre a natureza ontológica do espaço e tempo, a mecânica de Isaac Newton, as Leis de Movimento e suas relações com a noção de espaço e de tempo absolutos.

Ao retornar à sala de aula, foi apresentado aos alunos uma nova aula expositiva sobre a contextualização histórica acerca do séc. XVII. Ao longo dessa aula, foi apresentada as mudanças que ocorreram na sociedade europeia nesse período, tais como: o estabelecimento das religiões protestantes, as novas artes plásticas e o surgimento das organizações científicas, fatores esses que foram muito importantes para o desenvolvimento científico da época. A aula realmente chamou a atenção dos alunos para os diferentes aspectos sociais/culturais que ocorreram no século XVII, talvez por essa aula ter apresentado uma contextualização bem mais ampla que a do episódio anterior. Nas aulas que se seguiram, o professor continuou apresentando [através de textos, aulas expositivas e vídeos] os trabalhos desenvolvidos por Isaac Newton e suas aplicações, incluindo alguns dos motivos que levou Newton a desenvolver as leis dos movimentos e a lei do movimento planetário.

Um dos vídeos apresentado se trata do 3º episódio da série “Cosmos: Uma Odisseia no Espaço-Tempo”, estrelado pelo físico estadunidense Neil De Grasse Tyson. O episódio intitulado “*Quando o conhecimento venceu o medo*” possui 50 minutos de duração e foi exibido integralmente em sala de aula. A princípio os alunos se mostraram muito interessados no vídeo, mas à medida que o tempo foi passando alguns foram perdendo o foco, talvez pelo fato do vídeo ser um pouco longo para ser exibido em sala de aula. De acordo com o observado, o ideal é que seja exibido vídeos de no máximo 30 minutos, mais do que isso se torna cansativo e os alunos perdem o foco. No entanto, ao final da exibição do vídeo, um grupo de alunos procurou o professor para fazer algumas perguntas sobre o que foi exibido e sobre os trabalhos desenvolvidos por Isaac Newton. O professor falou que ao longo do bimestre eles estariam estudando um pouco sobre esses trabalhos, inclusive suas ideias relacionadas ao espaço e tempo.

Aproveitando o momento o professor decidiu pedir aos alunos que realizassem outra mostra, dessa vez seria realizado em sala de aula, na qual cada um dos grupos faria uma breve pesquisa sobre alguns filósofos naturais do séc. XVII e XVIII, incluindo: Isaac Newton, Gottfried W. Leibniz, Edmundo Halley, René Descartes e Samuel Clark. Esse trabalho, que apresentou um pouco da vida e obra de cada um, também apresentou a concepção de espaço e tempo que cada um defendia. O trabalho foi exposto na semana seguinte e ficou exposto em sala de aula para que os alunos pudessem realizar futuras consultas. No mesmo dia em que os trabalhos foram entregues e expostos, foi realizada uma aula mostrando um pouco sobre a ideia da manutenção do movimento. A aula partiu desde a ideia do movimento presente em Aristóteles, passou pela teoria do Impetus e finalizou com a ideia de Inércia presente em Galileu e em Newton. Essa problematização serviu para introduzir as leis de movimento de Newton e lei da gravitação universal.

Após a realização de aulas relacionadas às Leis de Newton, foi apresentado aos alunos o problema do balde de rotação. Essa aula começou com o professor apresentando a ideia de referenciais inerciais, mostrando que os referenciais inerciais são aqueles referenciais que estão em repouso ou em movimento retilíneo uniforme. Além disso, foi falado também que as

leis de Newton são desenvolvidas tendo como base os referenciais inerciais. Portanto, como a Terra não é um referencial inercial, Newton passou parte de sua vida tentando encontrar um referencial que estivesse em total repouso para ser considerado um referencial inercial absoluto. Nessa tentativa, o filósofo natural apresentou um experimento mental conhecido como balde de rotação. Após essa discussão inicial, o professor exibiu dois vídeos<sup>7</sup> com uma simulação do balde de rotação (Vídeo 01: <<https://www.youtube.com/watch?v=Bz5WBEDAL0k>>; Vídeo 02: <<https://www.youtube.com/watch?v=Toy4T9WMS9U>>).

Em seguida, foi explicado que Newton apresentou este exemplo na tentativa de explicar o que produzia a concavidade apresentada na água. Além disso, mostrou aos alunos o que acontece com a água em cada uma das etapas: 1- Quando tanto o balde, quanto a água estão em repouso. 2- Quando o balde começa a se movimentar, mas a água ainda está em repouso. 3- Quando a água começa a se movimentar. 4- Quando a água está se movimentando com a mesma velocidade que o balde, ou seja, quando ela está em repouso em relação ao balde. 5- Quando o balde para de se movimentar e a água continua se movimentando. 6- Quando os dois estão novamente em repouso. Logo depois, o professor pediu que os alunos desenvolvessem uma explicação para a concavidade formada pela água. Essa problematização servirá como ponto de partida para a próxima parte deste episódio.

Ao longo da aula, os alunos compreenderam a ideia principal de um referencial inercial. Ao se tratar do vídeo com a simulação, eles ficaram bem curiosos do porquê a água apresentava tal característica, mesmo quando a água estava em repouso em relação ao balde. Ao perguntar por que a água formava a concavidade, alguns responderam dizendo que era devido a velocidade e ao movimento de rotação do balde, outros que eram devido a força realizada pelo balde, ainda teve alguns que falaram que é porque o balde forma uma barreira ou que é devido à gravidade. É interessante perceber que em todas as respostas apresentadas ninguém disse que a causa era os demais planetas ou estrelas. Seria uma informação a mais para ser discutida com os alunos, visto que de acordo com a explicação newtoniana, a ação sobre a concavidade da água também não poderia ser das “estrelas fixas” visto que se o balde ficasse em repouso e a esfera das estrelas fosse girada ao seu redor, a água continuaria plana e não apresentaria a concavidade. É importante deixar claro que não se esperava que os alunos respondessem de acordo com a visão newtoniana de espaço absoluto para explicar a estranha geometria da água. O objetivo dessa atividade foi o de levantar as suposições apresentadas pelos alunos para realizar uma problematização inicial com as próprias respostas deles, a fim de buscar a explicação dada por Newton para resolver o problema. Por esse motivo, ao final da entrega das respostas, o professor liberou a turma, fez a análise das repostas (como apresentadas anteriormente) e na semana seguinte partiu desse ponto.

---

<sup>7</sup> Vídeo 01. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Bz5WBEDAL0k>>. Acesso em: 06 Jul 2014.  
Vídeo 02. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Toy4T9WMS9U>>. Acesso em: 06 Jul 2014.

No início da aula, foi apresentado aos alunos as categorias de respostas com as explicações que eles mesmos fizeram sobre o problema do balde de rotação. Para isso, o professor fez uma tabela com as categorias e discutiu caso a caso do porquê não poderia ser nenhuma delas, de acordo com os trabalhos de Newton. Em seguida, o professor disse que para explicar tal situação Newton apresentou a ideia de um espaço absoluto, ou seja, um espaço que estivesse em completo repouso e que seria o responsável por realizar a ação sobre a água. Isso faria todo sentido, mesmo no caso em que a água está em repouso em relação ao balde, pois estaria em movimento em relação ao espaço absoluto. Em seguida, foi entregue aos alunos um pequeno texto que apresentava as ideias de espaço e tempo absolutos e espaço e tempo relativos, quais eram as concepções newtoniana – incluindo sua filosofia mecanicista e a metafísica sobre Deus e o espaço e tempo absoluto. Após a realização de uma leitura em grupo os alunos responderam a algumas questões referentes ao texto. São elas: 1) De acordo com a leitura do texto, para você, o que é um espaço absoluto? 2) Por quais motivos Newton defendia a existência de um espaço absoluto? 3) O experimento do “balde de rotação” foi utilizado por Newton para defender que existia um espaço absoluto. Pensando nisso, você acredita que a concavidade da água é prova suficiente da existência do espaço absoluto? 4) Comente a seguinte frase, indicando se você concorda ou discorda e apresentando uma justificativa: “*O conhecimento humano é uma busca sem fim que leva a resultados provisórios e não a verdades*”. Em seguida, o professor ainda pediu que os alunos realizassem, individualmente, uma representação pictórica – podendo ser um desenho, uma pintura, charge, etc. – de como eles imaginam que seria o espaço absoluto defendido por Newton.

No escopo desse trabalho, não podemos deixar de comentar a questão 03 (*O experimento do “balde de rotação” foi utilizado por Newton para defender que existia um espaço absoluto. Pensando nisso, você acredita que a concavidade da água é prova suficiente da existência do espaço absoluto?*) na qual é observado que nas respostas que cinco dos oito grupos eles acreditam que o experimento do balde é suficiente para “provar” a existência do espaço absoluto. Desses cinco, três grupos apenas falaram que sim, sem realizar nenhuma discussão a mais. Enquanto os outros dois argumentaram dizendo que a água adquire tal característica porque é o espaço que realiza a ação sobre ela, logo isso prova a existência do espaço absoluto. É preciso observar que eles argumentaram dessa forma pois nesse momento o texto não considerou uma alternativa contrária, pois, apenas na atividade seguinte será apresentado a visão leibniziana do espaço e tempo. É importante considerar também que os alunos que apenas responderam “sim” estavam bem dispersos nessa aula e que aparentemente, não compreenderam muito bem a diferença entre espaço absoluto e relativo. É interessante observar que os grupos que responderam “não é prova suficiente” afirmaram que é necessário realizar mais testes.

Outro ponto a ser destacado desse episódio se refere a representação pictórica dos alunos sobre o espaço absoluto de Newton.

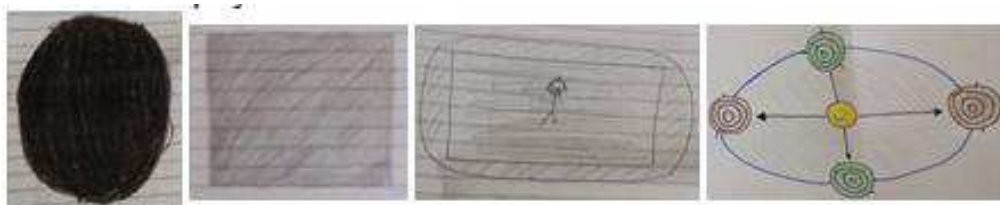


Fig. 3 – Representação dos alunos sobre o espaço absoluto. Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao observar suas representações é percebido que a maioria representou o espaço absoluto ou através de uma circunferência (pintada ou não) ou através de um retângulo (pintado ou não). Ou seja, no imaginário dos alunos aparece a compreensão de que o espaço é algo limitado, ou apresentando um formato esférico, o que é mais comum de se imaginar, ou retangular, o que foge um pouco a ideia de círculo, mas de qualquer forma remete a ideia de um espaço absoluto, visto que um dos exemplos utilizados pelo professor ao explicar a ideia do espaço absoluto de Newton foi o de um palco vazio à espera do ator. A presença do ator não altera a estrutura do palco, assim poderia ser compreendido o espaço absoluto, uma estrutura que existiria por si só e por sua própria natureza em que a presença dos corpos não altera sua estrutura. Talvez seja esse o motivo também que levou os alunos a colocar em suas explicações que “o espaço absoluto não precisa ter massa (ou corpos) em seu interior”. Porém, seria interessante que o professor deixasse mais claro aos alunos que, apesar do espaço absoluto de Newton ser algo que existe por sua própria natureza e que a existência – ou inexistência – dos corpos não altera sua estrutura, ele é algo que permeia os corpos e interage com eles, por esse motivo, inclusive que Newton explica a ação do espaço absoluto sobre a água no experimento do balde de rotação. Algo a ser observado foi que em uma das representações, um aluno representou o espaço através dos vórtices de Descartes. Isso possivelmente se deve ao fato desse aluno ter realizado o trabalho de exposição sobre Descartes.

Outro ponto a ser observado é que dois alunos representaram o espaço absoluto de acordo com a metafísica de Newton – em concordância com a teoria mecanicista – na qual, segundo ele, o espaço absoluto, juntamente ao tempo absoluto, seriam os sentidos de Deus para perceber a existência dos corpos e fazer pequenos ajustes no universo quando assim achasse necessário. Isso inclusive foi um dos motivos que levou Leibniz a discordar de Newton quanto a existência do espaço e tempo absoluto. Pois para ele, o universo teria algo que permaneceria constante desde a criação, e que se Deus teria criado uma máquina perfeita, ele não precisava realizar ajustes de tempo em tempo, e nem tão pouco dependeria de um espaço e tempo para perceber a existência dos corpos. Tal característica foi levantada pelo professor ao final da atividade e disse que isso seria melhor trabalhado na aula seguinte.

Na aula seguinte, o professor começou a aula apresentando os pontos principais da visão newtoniana acerca do espaço e tempo absoluto. Como isso era importante para compreender as três leis de Newton, principalmente a inércia, já que não faz sentido falar de permanência do movimento se não existe um espaço existente a priori. Além disso, o professor falou que essa conceituação estava de acordo com a visão de natureza e de mundo de Isaac Newton,

incluindo a filosofia mecanicista e suas ideias sobre Deus e o universo. O professor destacou que essa relação entre ciência, filosofia e religião era algo muito comum nesse período. Exatamente por esse motivo que algumas pessoas criticaram o posicionamento de Newton, um deles foi Gottfried W. Leibniz. Um dos motivos de Leibniz ter criticado Newton foi o fato de Newton considerar que o espaço e o tempo eram os sentidos de Deus e que, por isso, ele poderia fazer ajustes no universo quando fosse necessário. Essa controvérsia entre os dois foi marcada pela troca de correspondência entre Leibniz e Clarck, discípulo e defensor das ideias newtonianas. Após apresentar essas questões, o professor colocou no quadro as ideias newtonianas e as ideias leibnizianas acerca da natureza do espaço e tempo.

Quadro 3 – Espaço e tempo para Newton e Leibniz.

<b>Espaço e Tempo para Newton</b>	<b>Espaço e Tempo para Leibniz</b>
Existem de fato.	São idealizados.
São absolutos, mas uma parte deles pode ser relativo.	São puramente relativos.
Não dependem da existência dos corpos e nem alterar sua estrutura na presença dos corpos.	Servem para relacionar a sucessão dos eventos e a coexistência dos corpos.
Um argumento: Explica a geometria da água no balde de rotação.	Um argumento: Princípio da indiscernibilidade dos objetos: Se duas coisas são idênticas em tudo, então elas são a mesma coisa e, portanto, não pode existir, logo o espaço absoluto não existe.
Comparava o universo a um relógio de acordo com a teoria mecanicista. Assim, o espaço e o tempo seriam os sentidos de Deus para realizar ajustes quando necessário.	Não desconsidera a visão mecanicista, mas diz que o universo é uma máquina perfeita. Portanto, Deus não precisaria realizar ajustes em sua criação perfeita.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, o professor falou que com tempo as ideias de Newton acabaram sendo mais aceitas, principalmente devido ao sucesso da Física desenvolvida por ele, que serviu inclusive para “prever” matematicamente a existência de um planeta do sistema Solar (Netuno). Por esse e outros motivos, a física de Newton e a ideia de espaço e tempo absoluto foram aceitos até meados do século XIX e início do século XX, quando surgiu outros físicos, incluindo Albert Einstein, que desenvolveu uma física totalmente diferente da newtoniana, mas isso será visto com mais detalhes no próximo episódio dessa história. Após a realização dessa

explicação, foi pedido que os alunos realizassem uma atividade colocando as ideias principais dos dois filósofos naturais em uma charge ou uma história em quadrinho.

Após a discussão sobre a controvérsia Newton x Leibniz, foi pedido que os alunos elaborassem uma história em quadrinho ou uma charge sobre a controvérsia apresentada. Os alunos tiveram cerca de 30 min para executar atividade e entregar ao professor

Os alunos ficaram bem motivados para realizar a atividade, principalmente por ser uma atividade lúdica. O interessante é que mesmo eles se divertindo, conseguiram compreender um pouco melhor as concepções de Newton e Leibniz sobre espaço e tempo, uma vez que sempre que surgia alguma dúvida, eles perguntavam ao professor. Segue na Fig. 4 algumas produções dos alunos.

Essa atividade talvez tenha sido uma das que os alunos mais gostaram de realizar. Além de terem demonstrado os conhecimentos aprendidos acerca da controvérsia entre Newton e Leibniz, eles também mostraram uma visão um pouco mais informada sobre a produção do conhecimento científico. A atividade surpreendeu até mesmo o professor, que a princípio havia pensando que, pelo fato dos alunos não terem compreendido bem a aula anterior, eles não conseguiriam apenas realizar a atividade, mas conseguiram e fizeram muito bem.

As atividades realizadas nesse segundo episódio serviram para apresentar o caráter transitório de um conhecimento científico, a controvérsia entre Newton e Leibniz acerca da natureza ontológica do espaço e tempo e como as ideias newtonianas se tornaram importante para os séculos seguintes. Neste episódio, as atividades realizadas tiveram mais pontos positivos a serem destacados, principalmente por contar com atividades lúdicas e mais contextualizadas. Mesmo que se tenha encontrado algumas atividades para adequar a proposta desse trabalho ao currículo já estabelecido, pode-se dizer que grande parte dos objetivos foram alcançados. O quadro 4 sintetiza a sequência didática realizada.

#### **IV.4 A Relatividade de Einstein e o espaço e tempo relativos**

Ao terminar o episódio anterior, o professor como pesquisador de sua própria ação avaliou as atividades realizadas e fez alterações no planejamento que havia realizado para o segundo episódio, buscando um melhor aproveitamento para atender os objetivos dessa etapa, que dentre eles estavam: discutir a Relatividade Restrita e Geral de Einstein, o contexto científico-histórico-social da época em que Einstein vivia; apresentar os problemas físicos da época; compreender aos problemas enfrentados pela Física no século XIX e a solução dada por Einstein; compreender que a Teoria da Relatividade constitui um novo modelo explicativo para o universo e uma nova visão de mundo; compreender a Relatividade da Simultaneidade; compreender a Relatividade Restrita de Einstein; compreender a Relatividade Geral de Einstein; compreender a diferença entre grandezas absolutas e relativas; reconhecer tecido espaço-tempo sendo o tempo a quarta dimensão; compreender que o tempo e o espaço são relativos devido à invariância da velocidade da luz.

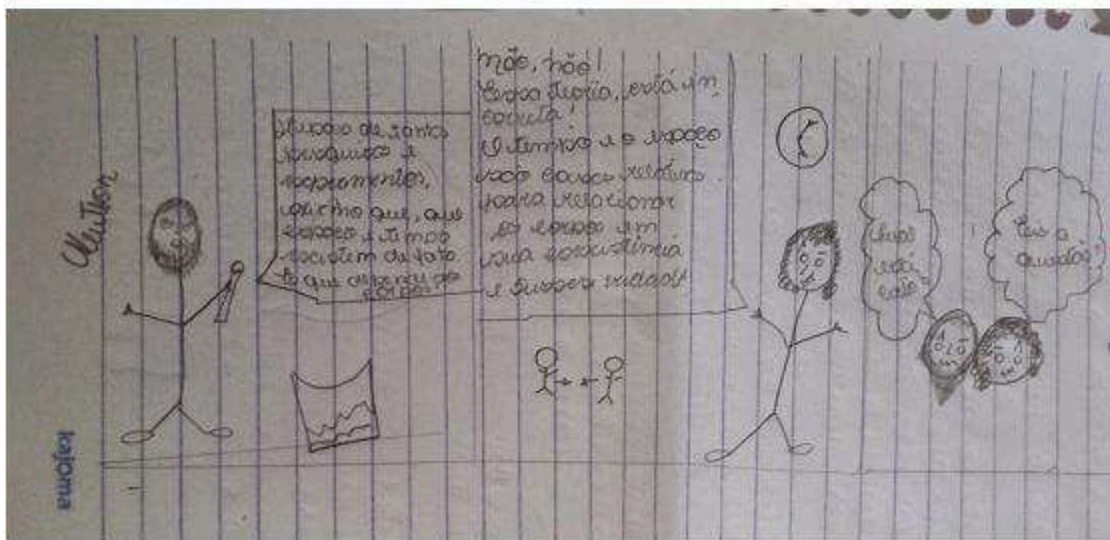
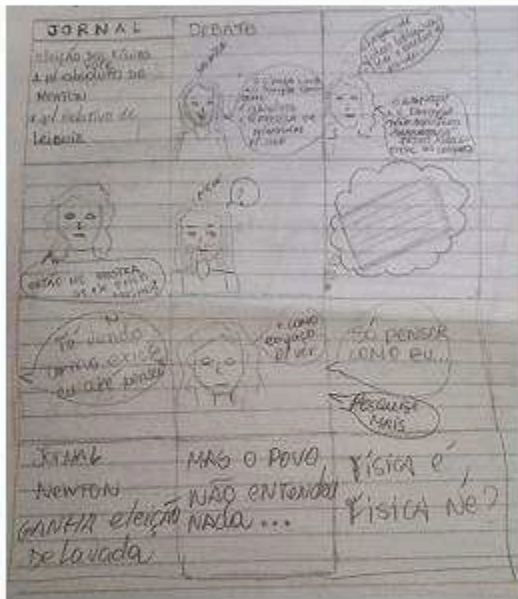
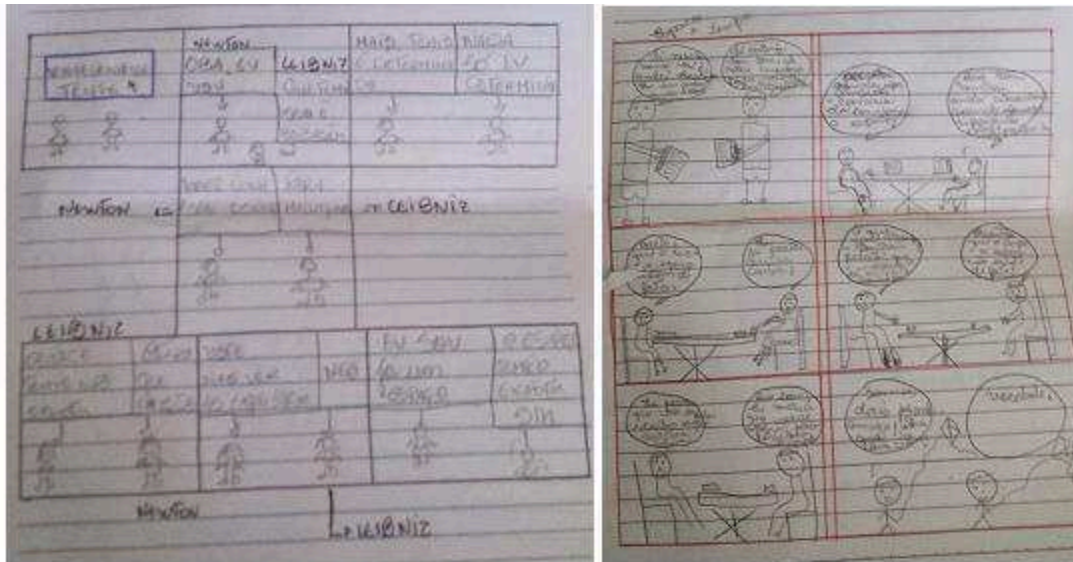


Fig. 4 – História em quadrinho elaborada pelos alunos. Fonte: Elaborado pelo autor.



Quadro 4 – Isaac Newton e o espaço e o tempo absolutos.

<b>ATIVIDADE</b>	<b>MOMENTO</b>	<b>TEMPO (AULAS)</b>
1. Contextualização Histórica.	Aula Expositiva: O Contexto Histórico do séc. XVII	2 Aulas
	Exibição de Vídeo: Halley e Newton.	
	Exposição: Newton, Leibniz, Descartes, Edmundo Halley e Samuel Clarke.	
2. A Manutenção do Movimento.	Aula expositiva: A Manutenção do Movimento.	2 Aulas
	Discussão: O que é Força?	
3. As Leis do Movimento	Aula expositiva: As leis do movimento: Inércia, Dinâmica e Ação e Reação.	4 Aulas
	Atividade: As leis de Newton.	
4. A Gravitação Universal	Texto: O problema da órbita dos planetas e a solução newtoniana: a lei do inverso do quadrado.	2 Aulas
	Problematização: A ideia de um referencial inercial e o experimento do balde. Seria o espaço algo absoluto?	
5. O Espaço Absoluto de Newton	Leitura de Texto: O Espaço e Tempo Absoluto de Newton; O Espaço e Tempo Relativo de Leibniz	2 Aulas
	Aula Expositiva: A controvérsia Newton x Leibniz	
	Debate e entrega de Atividade	
6. Atividade de Encerramento	Atividade: História em quadrinho “A controvérsia: Newton x Leibniz”	4 Aulas

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como os outros, o professor também começou essa etapa realizando uma discussão sobre o contexto histórico do séc. XIX. Nessa aula, foi apresentado as mudanças de forma de governo devido à revolução industrial e a revolução francesa; as invenções técnicas, tais como o trem a vapor e o problema que veio com isso relacionado a sincronização dos relógios das estações ferroviárias; as novas formas de representações artísticas, tais como o impressionismo e; o novo ramo literário conhecido como ficção científica. Além disso, foi apresentado aos alunos as novas ciências que foram desenvolvidas nesse período, tais como a Biologia, a Química Industrial e a Matemática não euclidiana. Como nos episódios anteriores, nessa atividade de contextualização histórica, os alunos – em sua maioria – se mostraram mui-

to interessados. Acredita-se, inclusive, que uma aula que faça uma contextualização histórica se torna interessante aos olhos dos alunos, por apresentar e discutir um conhecimento mais amplo e que conecta diversas pontas que os alunos costumam ver/estudar de forma separada. No contexto da aplicação desse trabalho, os alunos nunca imaginaram que um problema ligado a sincronização dos relógios das estações ferroviárias seria algo que provocaria acidentes graves – como ocorreu nesse período – e que isso traria uma preocupação a nível técnico, mas que também seria a fonte de inspiração para homens como Albert Einstein desenvolverem os seus trabalhos (GALISON, 2005).

Ao longo dos dias que se passaram o professor continuou realizando aulas expositivas e leitura de textos sobre o contexto histórico em que Einstein viveu. Além disso, também apresentou aos alunos a ideia de constância da velocidade da luz e da relatividade da simultaneidade. Em seguida, foi exibido um pequeno documentário chamado “*Além do cosmos: o espaço e tempo*”, no qual é realizado um grande apanhado sobre as conceituações de espaço e tempo ao longo da história da física. Em seguida, foi entregue um texto (elaborado pelo professor) aos alunos para que eles pudessem realizar uma leitura em casa e traze-lo na semana seguinte. O texto apresentava a relatividade de Einstein e as diferenças entre o espaço e tempo absoluto de Galilei/Newton e o espaço e tempo relatividade de Einstein.

A exibição do vídeo foi boa até certo ponto. Se por um lado, ele conseguiu apresentar em poucos minutos as principais diferenças entre o espaço e tempo da mecânica clássica, por outro a sua linguagem de documentário fez com que grande parte dos alunos perdessem o interesse depois de vinte e cinco minutos de exibição. Os vídeos apresentados nos bimestres anteriores, mesmo com as ressalvas realizadas, prenderam mais a atenção dos alunos. Tal vídeo até pode ser exibido, mas, de acordo com o contexto da aplicação da atividade, o ideal é que fossem realizados alguns recortes que o professor fosse explicando os detalhes e pequenos trechos do vídeo fosse inserido como exemplo. Em todo caso, acreditamos que a leitura do texto vai fazer eles gostarem um pouco mais e se interessarem pelo tema.

Os alunos realizaram a leitura do texto em casa e ao chegarem em sala o professor apresentou um pequeno resumo dos pontos principais, incluindo a relatividade do tempo e do espaço e como isso trazia uma nova forma de enxergar esses conceitos. Em seguida, os alunos foram motivados a responder uma breve questão sobre a transitoriedade dos conceitos e de espaço e tempo (*Para você, os conceitos de tempo e espaço não se alteram ao longo da história? Justifique*). Nesse dia um pouco mais da metade da turma compareceu. Isso porque no mesmo dia estava ocorrendo um evento de Educação Física e alguns alunos estavam participando da organização do mesmo. Como o ano letivo estava perto de acabar, não foi possível adiar a atividade. No entanto, os alunos que compareceram se mostraram ainda mais interessados pelo texto do que a exibição do vídeo na semana anterior. Durante a leitura, alguns alunos ainda realizaram algumas perguntas relacionadas ao espaço e tempo de Einstein. Nesse dia, inclusive, uma aluna havia assistido a um filme de ficção científica (*Interestelar*) que abordava assuntos relacionados a relatividade de Einstein e ela comentou que tinha visto so-

bre o tempo passar diferente para pessoas em situações diferentes (com velocidades diferentes) e que ela havia achado isso muito bom. Cerca de quatro alunos ficaram dispersos ao longo da leitura e não responderam as questões. Os dezesseis alunos restantes responderam as questões, em dupla.

Seis duplas apresentaram respostas dizendo que os conceitos de espaço e tempo se alteram ao longo da história. No entanto, em duas justificativas, três duplas apresentaram como exemplo as diferenças entre as ideias de Newton e a de Einstein. Ao mostrar esse exemplo é percebido que para eles está claro que nesse contexto a ciência possui um caráter transitório e que não é necessariamente progressista, já que tanto as ideias newtonianas quanto as einsteinianas estão de acordo com o estilo de pensamento da época, aceito e validado pelo coletivo de pensamento de épocas distintas. No entanto, uma dupla afirmou que “cada um tem o seu jeito de pensar”, apresentando ainda certo relativismo exagerado na ciência. Repetimos novamente que mesmo que cada um tenha o seu jeito de pensar, para que uma ideia científica seja aceita é necessário que ela seja validada pelo coletivo de pensamento, caso contrário será apenas uma ideia.

Duas duplas defenderam a ideia de que os conceitos de espaço e tempo não se alteram ao longo do tempo. Talvez responderam dessa forma pela formulação da questão. Ao perguntar “...tempo e espaço **não** se alteram...”, alguns alunos acabam concordando com a pergunta. Porém, com suas justificativas, percebe-se que para eles, a visão newtoniana mostra que se o espaço e o tempo são grandezas absolutas, elas não apenas não se alteram com a mudança de referencial, como os seus próprios conceitos não podem mudar com o passar do tempo. De certa forma, as suas respostas fazem sentido, pois se algo é absoluto não pode mudar em qualquer situação. Entretanto, por serem conceitos e não “verdades” absolutas, eles – os conceitos de tempo e espaço – dependem do estilo de pensamento vigente e do coletivo de pensamento a que estão se referindo, já que mesmo em um dado momento histórico eles podem apresentar conceituações diferentes quando comparados a outros coletivos de pensamentos de áreas diversas, tais como a atribuição dada pelos filósofos, pelos sociólogos, pelos geógrafos, etc.

Logo após ser apresentado as ideias da Relatividade de Einstein, incluindo a concepção de espaço e tempo relativo, da curvatura do tecido espaço-tempo e da relatividade geral, foi pedido que os alunos desenvolvessem um vídeo sobre o espaço e o tempo ao longo da história. Os alunos foram divididos em grupos de cinco membros, totalizando seis grupos. Eles poderiam realizar uma pesquisa no material entregue ao longo do ano, na internet, em livros, etc. Porém, o vídeo deveria ter três minutos, no máximo. Dos seis grupos, apenas um não entregou a atividade. Dois grupos tiveram muitas dificuldades e não entregaram a atividade no dia que foi pedido, mas entregaram depois. Os demais grupos entregaram a atividade no prazo, mas nenhum deles realizou um vídeo em que atuassem como atores, todos os grupos realizaram um breve resumo do que foi discutido ao longo do ano e apresentaram de forma oral. Um dos grupos apresentou com narração enquanto outros membros iam exibindo cartazes

com desenhos fazendo uma representação do que estavam falando. Nos vídeos foi percebido que eles compreenderam que a ciência é transitória, pois em diferentes contextos históricos e filosóficos, ela pode apresentar estilos de pensamentos diferentes. No entanto, como afirmado no início desse trabalho, o nosso objetivo nunca foi o de mudar a forma de pensar dos alunos, mas o de submetê-los a atividades que mostrassem o caráter transitório dos conceitos de espaço e tempo e que isso não ocorresse de forma progressista, com isso poderíamos perceber quais as atividades que cumpriram melhor o objetivo de discutir/problematizar os conceitos de espaço e tempo através de uma perspectiva histórico filosófica.

## **V. Pesquisa final**

No último dia de aula foi realizado um questionário com os alunos contendo perguntas sobre o espaço, o tempo, alguns elementos relativos a natureza da ciência. Para isso, os alunos foram divididos em seis grupos a fim de discutir e chegar a um consenso sobre as questões. Eles poderiam utilizar todo o material do ano como fonte de consulta. Nessa atividade, quase todos os alunos compareceram para realizá-la e, aparentemente, eles não tiveram muitas dificuldades em responder, principalmente pelo fato de ser uma atividade em consulta. No entanto, nem todos os alunos estavam com todos os materiais disponíveis no dia, mas como foi uma atividade em grupo, eles conseguiram reunir o material dos colegas e, em um trabalho colaborativo, conseguiram realizar a atividade. Apesar de terem sido realizadas outras perguntas nesse dia, apresentaremos apenas duas das perguntas, por estarem de acordo com o escopo desse trabalho. Nesta etapa, realizamos uma interpretação das respostas apresentadas tendo como base os conceitos de espaço e tempo apresentados anteriormente e realizaremos uma categorização – segundo a análise de conteúdo – com os pontos principais apresentados pelos grupos de alunos.

Como observado nas respostas dos alunos, eles apresentaram características estudadas ao longo do ano letivo. O grupo 01, por exemplo, apresentou uma conceituação da Relatividade de Einstein, onde o espaço e tempo são relativos e que dependem do estado de movimento do observador. O mesmo pode ser observado com os grupos 04 e 06. O grupo 06 chegou a afirmar que o espaço e o tempo formam o tecido espaço-tempo, isso mostra que eles possuem uma compreensão mais informada sobre como o espaço e tempo é compreendido na Relatividade de Einstein. No entanto, o grupo 04 apresentou em sua fala algo não esperado. Segundo os integrantes desse grupo, a “a teoria de Einstein é a mais correta dentre todas” as outras. Como já visto, o referencial epistemológico de Fleck mostra que os conhecimentos científicos de estilos de pensamentos diferentes não estão errados, apenas são diferentes por fazerem parte de coletivos de pensamentos diferentes. Cada um está “certo” – ou seja, validado - dentro de seu contexto. Sendo assim, os integrantes desse grupo ainda apresentam uma informação não adequada sobre o desenvolvimento do conhecimento científico.

Quadro 5 – Questão: “O que é o espaço e o tempo?”.

<b>Questão 01 - De acordo com as aulas ao longo do ano sobre os desenvolvimentos teóricos de Galileu, Newton, Einstein e tantos outros, para você o que é o tempo e o espaço.</b>	
<b>Grupo</b>	<b>Resposta</b>
Grupo 01	<i>O espaço e o tempo são coisas relativas e que dependem do estado de movimento de um corpo em relação a um observador.</i>
Grupo 02	<i>Tempo e espaço são conceitos que ao longo do tempo sofrem transformações.</i>
Grupo 03	<i>O espaço é uma região onde fenômenos acontecem e o tempo é quando essas coisas acontecem.</i>
Grupo 04	<i>O espaço e o tempo são relativos. Para nós, a teoria de Einstein é a mais correta dentre todas elas.</i>
Grupo 05	<i>A gente acredita que o tempo e o espaço são coisas que existem independentemente da existência dos corpos.</i>
Grupo 06	<i>O tempo e o espaço são coisas fundidas que formam o tempo-espaço. Por serem relativos, podem apresentar medidas diferentes de acordo com a velocidade de um corpo que se move em relação a outro.</i>

Fonte: elaborado pelo autor.

O grupo 02 mostrou algo esperado, nosso objetivo sempre foi o de que eles compreendessem que os conceitos de espaço e tempo – assim como toda a ciência – se alteram ao longo da história e que essa alteração ocorre de forma lenta e traspassada através de protoideias que evoluem (em um sentido não progressista) até se tornarem um estilo de pensamento vigente e validado pelos pares do coletivo de pensamento.

Sendo assim, de acordo com as respostas apresentadas pelos grupos, podemos categorizar o que eles compreenderam sobre os conceitos de espaço e tempo de acordo com o quadro 6.

Quadro 6 – Categorias de espaço e tempo.

<b>Espaço e Tempo – Categorias apresentadas pelos alunos</b>	
Onde e quando os ocorrem os eventos.	São relativos aos movimentos dos corpos.
Existem e independem da existência dos objetos.	São conceitos que se alteram ao longo da história.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 7 – Questão: “Os conceitos de espaço e o tempo podem se alterar?”.

<b>Questão 04 - Como você viu, de acordo com a Física de Einstein, o espaço e tempo são coisas relativas e que dependem do estado de movimento de um corpo em relação a um observador. Para você, essas características atribuídas (pela Física) ao espaço e ao tempo podem se alterar no decorrer na história? Sim, ou não? Justifique sua resposta com exemplos.</b>	
Grupo	Resposta
Grupo 01	<i>Sim, porque a ciência não é absoluta.</i>
Grupo 02	<i>Sim.</i>
Grupo 03	<i>Sim, porque cada pessoa pensa de um jeito, então pode vir outra pessoa e mudar tudo.</i>
Grupo 04	<i>Sim, Einstein mostrou as coisas que conhecemos hoje e que estão de acordo com a ciência dele, mas é bem provável que daqui a 60, 70 anos pode haver uma pessoa que mude as coisas como conhecemos.</i>
Grupo 05	<i>Sim. Desde os primeiros pesquisadores até agora muitas coisas mudaram.</i>
Grupo 06	<i>Sim, pois cada um tem a sua opinião e essa foi a dele.</i>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como percebido, todos os alunos afirmaram que sim, os conceitos de espaço e tempo podem se alterar no decorrer da história. Como visto ao longo do ano, o espaço e tempo apresentavam características de qualidades, depois geométricas, em seguida se transformaram em entidades absolutas e, por último, relativas. Ou seja, existe esse caráter transitório nos conceitos de espaço e tempo. Justificando tal afirmação, um grupo (01) chegou a dizer que a ciência não é absoluta, ou seja, ela é relativa. Mas em que sentido ou medida eles afirmaram isso? Não se pode dizer, mas algo observado é que de fato ela depende de diversos fatores para ser considerada ciência e até essas atribuições podem sofrer uma mutação/evolução no decorrer do tempo. Os grupos 03 e 06 reafirmaram o posicionamento deles que cada um “pensa de um jeito” ou “tem a sua própria opinião” e assim, pode vir outro e mudar a qualquer momento. Os grupos 04 e 05 foram bem coerentes em sua resposta, ao afirmarem que desde os primeiros pesquisadores muitas coisas mudaram até agora, mas pode ser que daqui a um tempo sejam novas pesquisas que façam tudo mudar novamente. Sintetizando as ideias apresentadas pelos alunos, podemos categorizá-las de acordo com o quadro 8.

Quadro 8 – Questão: “O que é o espaço e o tempo?”

<b>Para você, essas características atribuídas (pela Física) ao espaço e ao tempo podem se alterar no decorrer na história?</b>	
Pode sim.	Cada um pensa de um jeito diferente*.
Pois a ciência não é absoluta.	Se mudou antes, pode se alterar daqui a algum tempo também.

Fonte: Elaborado pelo autor.

## VI. Considerações finais

Apesar dos conceitos de espaço e de tempo fazerem parte de nossa vida cotidiana e de serem de grande importância para toda a história da Física, eles quase nunca são discutidos nas aulas dessa ciência. Além disso, apesar de haver um esforço por parte de muitos pesquisadores e alguns professores em desenvolver aulas mais contextualizadas, principalmente com um viés histórico-filosófico, grande parte dos educadores ainda apresentam uma visão dogmática da Física, como se os conhecimentos construídos pelos cientistas fossem verdades absolutas prontas e acabadas.

Aliada a transmissão dessa visão inadequada, grande parte das aulas de Física são realizadas com um excessivo formalismo matemático com o objetivo de resolver listas infundáveis de exercícios desse tipo. Não defendemos nesse trabalho que não seja importante a resolução de problemas-situações com a utilização de fórmulas e equações matemáticas, afinal seria um erro fazer isso. No entanto, criticamos o uso excessivo dessa abordagem e a falta de contextualização do conhecimento científico onde o seu processo de construção e desenvolvimento histórico filosófico não é discutido.

Os episódios históricos apresentados na sequência didática desse trabalho, incluindo as atividades didáticas que foram desenvolvidas e aplicadas, permitiram que fosse apresentado aos alunos uma visão de ciência um pouco mais informada. Com isso, foi possível problematizar o processo de construção dos conceitos de espaço e de tempo, seus processos transitórios dentro da Física, as controvérsias, as relações com outras áreas de conhecimento e etc. Isso fez com que grande parte dos alunos percebesse que a ciência não é um produto pronto e acabado, que ela é desenvolvida por homens com crenças e valores diferentes e que ela é integrada socialmente e culturalmente.

Como visto ao longo desse trabalho também, em nenhum momento foi deixado de ser ensinado os conhecimentos curriculares aceitos como comuns, incluindo a Cinemática de Galileu e a Mecânica de Newton. Sendo assim, embora o Currículo Mínimo do Estado do Rio de Janeiro defenda o uso de um viés histórico-filosófico, o que de certa forma favoreceu o desenvolvimento desse trabalho, nada impede que ele seja realizado em outros cenários com um currículo mais tradicional. Por exemplo, o professor pode apresentar aos alunos as equações de movimento de Galileu, mas também mostrar a preocupação que o matemático tinha

em representar geometricamente o espaço e o tempo e que isso se deve a visão que o próprio tinha, pois estava imerso em uma cultura na qual a técnica da perspectiva havia se desenvolvido através de movimentos artísticos. Com isso, o educador estará abordando o conteúdo curricular, mas também estará contribuindo para que seus alunos possuam uma visão de ciência um pouco mais informada.

Além desse momento histórico, nesse trabalho buscamos sempre realizar aproximações entre o conhecimento científico e o contexto histórico na qual ele foi desenvolvido. No entanto, realizar esse tipo de abordagem não é uma tarefa fácil. Ao longo da realização dessa pesquisa encontramos diversos obstáculos e desafios, muitos deles já citados por diversos pesquisadores da área, mas dois dos problemas que mais se destacaram estão relacionados à falta de material didático disponível e a falta de tempo para planejar e executar as aulas. Uma das formas de contornar esse desafio foi desenvolver aulas em slides e produzir pequenos textos para os alunos. Outra atividade que funcionou de maneira positiva foi a realização de atividades lúdicas, tais como a produção de história em quadrinho sobre a controvérsia entre Newton e Leibniz. De acordo com o que observamos na realização dessa atividade, os alunos saíram da zona de conforto, se motivaram e mostraram que compreenderam o que foi abordado.

Não podemos deixar de mencionar que toda a sequência didática apresentada neste trabalho, incluindo as atividades realizadas, se trata de indicações que podem e devem ser adaptadas pelo professor para outros cenários. No entanto, defendemos que, independente das modificações que o professor venha a realizar, é importante que ele sempre reflita sobre a visão de ciência que está sendo transmitida aos alunos e que ele se questione sobre o porquê ele está ensinando física. A busca incessante por essa resposta permitirá que ele encontre possibilidades mais adequadas para que seus alunos se tornem mais informados e críticos acerca da ciência e de todo o seu processo de construção.

## **Referências bibliográficas**

ABD-EL-KHALICK, F. Teaching with and about nature of science, and science teacher knowledge domains. **Science & Education**, 2012.

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. The Influence of History of Science Courses on Students “Views of Nature of Science”. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 37, p. 1057-1095, 2000.

BENTES, A. L. Espaço e Tempo em Leibniz: Um estudo a partir da correspondência com Clarke. **Análogos**, Rio de Janeiro, 2010.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Porto: Porto, 1999.



BOGDAN, R.; BIKLEN, S. Características da investigação qualitativa. In: BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Porto: Porto Editora, 1994. p. 47-51.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. A física experimental numa perspectiva histórico-filosófica. In: PEDUZZI, L. O. Q.; Martins, A. F. P.; Ferreira, J. M. H. (Org.) **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal: EDUFRN, 2012. p. 211-227. ISBN 978-85-7273-885-9.

CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** Tradução: Raul Fiker. São Paulo: Brasiliense, 1997.

DISALLE, R. Space and Time: Inertial Frames. **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**, 2009. Disponível em: <<http://plato.stanford.edu/archives/win2009/entries/spacetime-frames/>>.

EINSTEIN, A. Sobre a Eletrodinâmica dos corpos em Movimento. In: STACHEL, J. **O Ano Miraculoso de Albert Einstein**. 1. ed. [S.l.]: UFRJ EDITORA, 2001. p. 222.

EINSTEIN, A.; INFELD, L. **A Evolução da Física**. Tradução: Giasone Rebuá. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2008. 248 p.

ELIAS, N. **Sobre o tempo**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998.

ENGEL, G. I. Pesquisa-ação. **Educar**, Curitiba, n. 16, p. 181-191, 2000.

FERREIRA, J. M. H.; MARTINS, A. F. P. **A História e a Filosofia da Ciência no ensino de ciências**. São Paulo: UFRN, v. 2, 2010.

FLECK, L. **A Genese e Desenvolvimento de um Fato Científico**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010. ISBN 856329906.

FORATO, T. C. D. M. **A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz**. São Paulo, 2009.

FORATO, T. C. D. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. D. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 28, p. 27-59, 2011.

GALILEI, G. **SIDEREUS NUNCIUS - O Mensageiro das Estrelas**. Tradução: Henrique Leitão. 3. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2010.

GALILI, I. Promotion of cultural content knowledge through the use of the history and philosophy of science. **Science & Education**, Dordrecht, v. 21, n. 9, p. 1283-1316, 2012.

GALISON, P. **Os Relógios de Einstein e os Mapas de Poincaré: Impérios do Tempo**. Lisboa: Gradiva, 2005.

GOMES, L. C. O experimento do balde girante de Newton: Muitas perguntas, poucas respostas. **Acta Scientiae**, v. 9, jul./dez. 2007.

GUERRA, A.; REIS, J.; BRAGA, M. Uma abordagem histórico-filosófica para o eletromagnetismo no ensino médio. **Caderno Brasileiro De Ensino De Física**, v. 21, n. 2, p. 224-248, 2004.

HIRST, J. **Breve História da Europa**. [S.l.]: Dom Quixote, 2013.

JAMMER, M. **Conceito de espaço: a história das teorias do espaço na Física**. Tradução: Vera Ribeiro. 1. ed. Rio de Janeiro: Contraponto: PUC-Rio, 2010.

JANSON, H. W. **História da Arte**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1992.

MARTINS, A. F. P. **Tempo Físico: a construção de um conceito**. 1. ed. Natal: UFRN, 2007. 270 p.

MARTINS, A. F. P.; PACCA, J. L. A. Criando um instrumento de análise para avaliação de perfis conceituais relativos ao conceito de tempo. In: IX EPEF - ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, IX, 2004, Jaboticatubas. **Atas...**

MARTINS, A. F. P.; ZANETIC, J. Tempo: esse velho estranho conhecido. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 54, p. 41-44, 2002.

NEWTON, I. **Principia - Principios Matemáticos de Filosofia Natural**. 1. ed. São Paulo: Edusp, 2002. 325 p.

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

PRAXEDES, G.; PEDUZZI, L. O. Q. Tycho Bhare e kepler na escola: uma contribuição à inserção de dois artigos em sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 3, 2009.

RONAN, C. A. **História Ilustrada da Ciência**. 1987. v. 3

ROSA, C. A. D. P. **História da Ciência: Da Antiguidade ao Renascimento Científico**. 2. ed. Brasília: FUNAG, v. I, 2012.

RYNASIEWICZ, R. Visualizações de Newton sobre espaço, tempo e movimento. **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**, Stanford, 2014. Disponível em: <<http://plato.stanford.edu/entries/newton-stm>>.

SANTAELLA, L. **Matrizes da Linguagem e Pensamento**. [S.l.]: ILUMINURAS, 2001. 432 p. ISBN 8573211520.

SAPUNARU, R. A. **O conceito leibniziano de espaço**: distâncias metafísicas e proximidades físicas do conceito newtoniano. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

SEEDUC. **Currículo Mínimo – Física**. Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2012.

TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 31, p. 443-466, set./dez. 2005. ISSN 3. Tradução: Lólio Lourenço de Oliveira.