



Física, arte e os conceitos de espaço e tempo

Eros dos Santos Ramos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UNIRIO no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Demison Correia Motta

Rio de Janeiro
Maio de 2017

Física, arte e os conceitos de espaço e tempo

Eros dos Santos Ramos

Orientador:
Demison Correia Motta

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UNIRIO no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:

Dr. Demison Correia Motta

Dr. Giselle Faur

Dr. Leonardo Mondaini

Rio de Janeiro

Maio de 2017

MODELO de FICHA CATALOGRÁFICA

CXXXc* Ramos, Eros
Física, arte e os conceitos de espaço e tempo / Eros dos Santos Ramos - Rio de Janeiro: UNIRIO / IBIO, 2017.
6 seções, 73 páginas; A4.
Orientador: Demison Correia Motta
Dissertação (mestrado) – UNIRIO / Instituto de Biociências / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2017.
Referências Bibliográficas: páginas 59 e 62.
1. Espaço-tempo. 2. Arte. 3. Ensino de Física.
I. Demison Correia Motta.
II. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biociências, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física.
III. Física, arte e os conceitos de espaço e tempo.

*Código da obra (fornecido pela biblioteca)

Consultar: <http://www.biblioteca.unirio.br/servicos-1/fichas-catalograficas>

Dedico esta dissertação a todos.

Agradecimentos

Primeiro agradeço a minha família. Em especial a minha esposa, Thaís F. C. B. Ramos, por todo o apoio e cumplicidade. Em segundo, agradeço ao meu orientador Demison Motta, por todas as horas de trabalho e aos colegas de mestrado Tatiana Arenaz e Luís Castro pela parceria construída ao longo dos meses deste curso. Por fim, agradeço a CAPES pelo auxílio financeiro e a Deus por todos os obstáculos superados.

RESUMO

FÍSICA, ARTE E OS CONCEITOS DE ESPAÇO E TEMPO

Eros dos Santos Ramos

Orientador:

Demison Correia Motta

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física da UNIRIO (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta de sequência didática com foco em estudantes de ensino médio que consiste na introdução da visão moderna do conceito de espaço-tempo sem a pretensão de discutir de forma específica conceitos da Teoria da Relatividade. Para isso, valorizamos a motivação do aluno com uma estratégia fundamentada no lúdico buscando relacionar Arte, Física e animação.

Palavras-chave: Espaço-tempo, Arte, Ensino de Física.

Rio de Janeiro
de 2017

ABSTRACT

PHYSICS, ART AND THE CONCEPTS OF SPACE AND TIME

Eros dos Santos Ramos

Supervisor (s):
Demison Correia Motta

Master's Dissertation submitted to the Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UNIRIO no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

This work aims to present for high school students the modern view about the concept of space and time in the form of the space-time structure without the pretension of discussing specifically concepts of the theory of relativity. Our focus is on the motivation of the student and the is understanding through the playful relationship of Art, Physics and animation.

Keywords: space-time, art, Physics education

Rio de Janeiro
of 2017

Sumário.

Introdução	1
Capítulo 1 A evolução dos conceitos de espaço e tempo	5
1.1 A evolução do conceito de espaço.....	5
1.2 A evolução do conceito de tempo.....	6
1.3 A Transformação de Lorentz e a Teoria da relatividade restrita.....	9
1.4 O espaço-tempo de Minkowski.....	11
Capítulo 2 Referencial Teórico.....	16
2.1 A importância da Motivação na relação de ensino-aprendizagem.....	16
2.2 O lúdico como estratégia de ensino.....	18
2.3 Física e Arte, interações possíveis.....	19
Capítulo 3 Apresentação do produto.....	29
3.1 Unidade 1.....	29
3.2 Unidade 2.....	31
3.3 Unidade 3.....	34
Capítulo 4 Aplicação e análise.....	37
4.1 Condições adversas do período de aplicação.....	37
4.2 Aplicação da primeira etapa.....	38
4.3 Aplicação da segunda etapa.....	43
4.4 Aplicação da terceira etapa.....	45
Considerações finais	49
Apêndice A- Manual do professor com breve descrição do produto.....	50
Apêndice B- Slides	54
Apêndice C - Confecção das fichas de imagens e do diagrama espaço-tempo.....	55
Apêndice D - Confecção do diagrama espaço-tempo.....	57
Referências Bibliográficas	58

Índice de figuras.

Figura 1.....	página 13
Figura 2.....	página 13
Figura 3.....	página 14
Figura 4.....	página 21
Figura 5.....	página 22
Figura 6.....	página 23
Figura 7.....	página 24
Figura 8.....	página 25
Figura 9.....	página 26
Figura 10.....	página 27
Figura 11.....	página 28
Figura 12.....	página 30
Figura 13.....	página 32
Figura 14.....	página 32
Figura 15.....	página 33
Figura 16.....	página 35
Figura 17.....	página 35
Figura 18.....	página 36
Figura 19.....	página 39
Figura 20.....	página 44
Figura 21.....	página 45
Figura 22.....	página 46
Figura 23.....	página 46
Figura 24.....	página 47
Figura 25.....	página 48
Figura 26.....	página 51
Figura 27.....	página 51
Figura 28.....	página 52
Figura 29.....	página 52
Figura 30.....	página 53
Figura 31.....	página 53
Figura 32.....	página 54
Figura 33.....	página 55
Figura 34.....	página 55
Figura 35.....	página 56

Índice de Caixas de texto.

Caixa de texto 1.....	página 40
Caixa de texto 2.....	página 40
Caixa de texto 3.....	página 41
Caixa de texto 4.....	página 41
Caixa de texto 5.....	página 41
Caixa de texto 6.....	página 42
Caixa de texto 7.....	página 43
Caixa de texto 8.....	página 44

Índice de Tabelas.

Tabela 1.....	página 5
Tabela 2.....	página 29
Tabela 3.....	página 30

Introdução

Nas últimas décadas o avanço tecnológico e científico tem influenciado o estilo de vida de nossa sociedade. As novas tecnologias que acompanham o cotidiano estão impregnadas de conceitos próprios da Física Moderna e, por muitas vezes, despertam o interesse dos jovens.

O GPS, por exemplo, tornou-se uma realidade na vida de todo indivíduo minimamente conectado. Hoje o mecanismo de orientação por satélite é utilizado corriqueiramente e a compreensão mais profunda de seu funcionamento exige que as pessoas tenham conhecimento sobre tópicos da teoria da relatividade.

Da mesma forma, o avanço da medicina de diagnóstico, com a introdução de novas tecnologias como a ressonância magnética nuclear e o raio X, também aponta para a necessidade de que sejam ensinados conceitos de Física Moderna para que as pessoas possam, inclusive, tomar decisões conscientes sobre seu uso.

No entanto, existem outras razões para a introdução de tópicos de Física Moderna no currículo do ensino médio. OSTERMANN e MOREIRA (2000) destacam alguns desses fatores motivadores: “*despertar a curiosidade dos estudantes (...) reconhecer a Física como um empreendimento humano (...) atrair os jovens para a carreira científica*”.

Tanto os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) como o Currículo mínimo do Estado do Rio de Janeiro (CMRJ) apontam nesse sentido.

Destacamos alguns pontos desses documentos:

“A presença do conhecimento de Física na escola média ganhou um novo sentido a partir das diretrizes apresentadas nos PCN. Trata-se de construir uma visão da Física que esteja voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade (...). A Física deve apresentar-se, portanto, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos. Isso implica, também, na introdução à linguagem própria da

Física, que faz uso de conceitos e terminologia bem definidos, além de suas formas de expressão, que envolvem, muitas vezes, tabelas, gráficos ou relações matemáticas. Ao mesmo tempo, a Física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por sua vez, por elas impulsionado.” (BRASIL, 2002)

“- Compreender o conhecimento científico como resultado de uma construção humana, inserido em um processo histórico e social.

- Compreender que a Teoria da Relatividade constitui um novo modelo explicativo para o universo e uma nova visão de mundo.

- Compreender que o tempo e o espaço são relativos devido à invariância da velocidade da luz.

- Reconhecer tecido espaço-tempo sendo o tempo a quarta dimensão.” (SEEDUC, 2012)

O currículo mínimo do Estado do Rio de Janeiro prevê a inserção de tópicos de Física Moderna nos três anos do ensino médio. Essa inserção se sustenta no fato de que muitos tópicos relacionados a esses conteúdos não necessitam de um estudo aprofundado sobre temas da Física Clássica: *“Abordamos, ao longo dos três anos, temas de FMC¹ como forma de atrair os estudantes e dar maior significado para o estudo de Física. Por isso, ao começarmos com o estudo de Cosmologia já poderemos falar de temas contemporâneos sem precisar esperar todo o estudo da Física clássica para fazê-lo(...).” (SEEDUC, 2012)*

Cabe destacar, contudo, que o estudo de temas associados à Cosmologia e os conceitos da física relativística são apresentados aos estudantes no primeiro ano do EM². Ora, invariavelmente, esses estudantes – recém-saídos do ensino fundamental – têm uma compreensão ingênua a respeito das noções de tempo e espaço. Mas tal compreensão não é adequada para o estudo dos temas propostos nos documentos oficiais.

¹ Física Moderna e Contemporânea.

² Ensino Médio.

GHISOLFI (2008), por exemplo, apresenta uma investigação sobre a compreensão do conceito de tempo em alunos de diferentes níveis de ensino. Ao apresentar os resultados gerais de sua pesquisa (p. 126), ele identifica que somente 2,0% dos envolvidos compreendem o conceito de tempo associado a uma quarta dimensão e somente 12,1% consideram o tempo como relativo. A maior parte dos estudantes acredita que o tempo é uma forma de convenção (33,0%) e que é compreendido pela ideia de *passagem/mudança* (31,0%), o que reflete uma concepção linear do tempo.

SOUZA *et al* (2015) apresentam uma classificação para diferentes concepções sobre o conceito de espaço – que será abordada no capítulo 1 deste trabalho – e com essa ferramenta traça um perfil epistemológico sobre a compreensão desse conceito. Os autores indicam que antes do curso universitário de física (no ensino médio), a compreensão do espaço por parte dos estudantes tem característica tipicamente empírica e absoluta. Somente após o curso eles passam a compreender o espaço de forma mais próxima a sua concepção na teoria da relatividade.

GHISOLFI (2008) e SOUZA *et al* (2015) fornecem indicações da importância de promover uma reflexão sobre a forma como os alunos de ensino médio compreendem os conceitos de espaço e tempo. Eles apontam, também, para a necessidade de se rever esses conceitos, construindo subsídios capazes de fazer com que os alunos de ensino médio tenham uma compreensão mais profunda de conteúdos associados à física moderna.

Diante desse cenário, vários autores vêm dedicando esforços no sentido de desenvolver ferramentas que facilitem a inclusão de assuntos de física moderna no ensino médio: REIS *et al* (2006), SANTOS (2006), GUERRA *et al* (2007) e KARAM *et al* (2006) são alguns exemplos.

A proposta desenvolvida neste trabalho tem como objetivo contribuir para esses esforços, de maneira que novas alternativas sejam disponibilizadas para a realização de ações pedagógicas no reduto escolar. Assim, a partir de uma aproximação entre Física e Arte como fator motivacional, será desenvolvido um produto que torne significativa para os alunos uma nova compreensão a respeito dos conceitos de tempo e espaço, uma vez que esse redesenho conceitual é pré-requisito para o estudo de temas da Física Relativística. Nessa perspectiva, o produto que será apresentado nas próximas linhas é uma estratégia didática amparada em imagens e técnicas já existentes. O principal objetivo dessa estratégia é implementar certas ferramentas que sejam capazes de fomentar o aprendizado do conceito de espaço-tempo.

A sequência didática consiste de três etapas que podem ser enriquecidas pela ação e autonomia do professor que executará a atividade.

Num primeiro momento apresentaremos pinturas produzidas em diferentes períodos levantando questionamentos em relação às possibilidades de interpretação dos conceitos de espaço e tempo. Na segunda etapa os alunos serão estimulados a construir animações com base na técnica “*stop motion*”, a qual será utilizada na construção da linha de universo de um evento no diagrama espaço-tempo. E, por fim, em uma terceira etapa, será trabalhada a mudança de referencial.

A aproximação entre Arte e Física é uma estratégia que já vem sendo explorada por diversos autores. REIS (2016) apresenta uma proposta de trabalho relacionando o espaço pictórico do cubismo com o espaço relativístico. Ele reforça a importância do carácter interdisciplinar e discute questões relacionadas à simultaneidade e ao tempo. REIS (2016) reforça as relações apontadas por REIS *et al* (2005) confirmando as possibilidades de se relacionar a Teoria da Relatividade com o movimento Cubista (essa temática é explorada com maior intensidade no artigo destacado abaixo³). ANDRADE (2007) apresenta a influência da Física Moderna nas obras de Salvador Dalí e, com isso, estabelece conexões para ensino de Física Moderna baseada na ideia de “*pegar os alunos primeiro pelo olhar, proporcionando o despertar do encantamento (que é o início do processo de compreensão) através da arte*” (ANDRADE, 2007). Essa abordagem se aproxima da concepção apresentada neste texto, a saber: a de estabelecer a Arte (pinturas) e o contexto histórico como ferramentas capazes de promover a motivação do aluno e o despertar do interesse para o estudo de tópicos relacionados à Física Moderna e a Teoria da Relatividade.

No capítulo 1 é apresentada uma revisão da evolução dos conceitos de espaço e tempo. No capítulo 2, é realizado um levantamento do referencial teórico utilizado na fundamentação didática do produto. Ao longo do capítulo 3, o produto é apresentado, assim como, sua aplicação idealizada pelo autor. No capítulo 4, é feita a análise, exposição e considerações sobre o processo de aplicação nas escolas. Por fim, coloco minhas considerações finais.

³ [REIS *et al*, 2006] REIS J. C.; GUERRA, A.; BRAGA, M.: Ciência e Arte: relações improváveis?, História, Ciência, Saúde – Manguinhos, v. 13 (suplemento), p.71-87 outubro 2006.

Capítulo 1: A evolução dos conceitos de espaço e tempo

Neste capítulo apresentaremos uma breve discussão sobre a evolução dos conceitos de espaço e tempo ao longo da história da Física. Nossa proposta é abordar algumas publicações consideradas relevantes sobre o assunto sem a pretensão de esgotá-lo. Consideramos que tal abordagem seja necessária para fundamentar as bases teóricas que sustentam este trabalho e fornecer suporte aos alunos e professores que participarão do desenvolvimento e aplicação do nosso produto.

1.1 Evolução do conceito de Espaço.

A partir de seus estudos, SOUZA *et al* (2015) concluem que o conceito de espaço pode ser classificado em cinco categorias. Para eles, o entendimento do conceito de espaço teria passado de uma noção intuitiva a um racionalismo abstrato profundo, o que na concepção de Bachelard se revelaria como uma “maturação filosófica do pensamento científico” (BACHELARD, 1978)

Essa maturação conceitual pode ser percebida na tabela abaixo. Nela, os autores classificaram o conceito de espaço de acordo com diferentes escolas filosóficas.

Tabela 1: Classificação do conceito de espaço (SOUZA, 2015)

Referencial Conceitual	Escolas Filosóficas
Localização, Posição, Vazio, lugar e Dimensão	Realismo ingênuo
Teodolito, GPS, Régua, Escalas, Trenas, etc..	Empirismo
Matemático, Absoluto, Independente, Simétrico.	Racionalismo clássico
Matemático, Relativo, Variável, Dimensão com o tempo	Racionalismo completo
Matemático, Abstrato, Indeterminado, Construído	Racionalismo discursivo

Entendemos que a noção mais intuitiva desse conceito está relacionada a uma simples concepção de posição, tamanho, lugar e *vazio*. Contudo, a ideia do *vazio* tem a intenção de fornecer a noção de lugar disponível, que faz referência a uma interpretação da antiguidade clássica (SOUZA *et al*,2015). Afinal, os gregos repudiavam a ideia de vazio absoluto (vácuo). O próprio Aristóteles refutou tal concepção por acreditar que a mesma era contraditória em si e, portanto, absurda (PORTO, 2009).

A segunda classificação apresenta uma noção empírica na forma de um espaço a ser mensurado através de instrumentos, em paralelo com seu conceito de lugar intuitivo do realismo ingênuo.

Aristarco de Samos, além de reconhecer as posições ocupadas pela Terra, Lua e Sol, foi capaz de propor um método engenhoso para determinar as distâncias relativas do Sol e da Lua.

A abordagem relacionada ao racionalismo clássico contempla a concepção de espaço absoluto de Isaac Newton:

“ ... II O espaço absoluto, em sua própria natureza, sem relação com qualquer coisa externa, permanece sempre similar e imóvel. Espaço relativo é alguma dimensão ou medida móvel dos espaços absolutos, a qual nossos senti- dos determinam por sua posição com relação aos corpos, e é comumente tomado por espaço imóvel; assim é a dimensão de um espaço subterrâneo, aéreo ou celeste, determinado pela sua posição com relação a Terra. Espaços absoluto e relativo são os mesmos em configuração e magnitude, mas não permanecem sempre numericamente iguais. Pois, por exemplo, se a Terra se move, um espaço de nosso ar, o qual relativamente a Terra permanece sempre o mesmo, em um dado tempo será uma parte do espaço absoluto pela qual passa o ar, em um outro tempo será outra parte do mesmo, e assim, entendido de maneira absoluta, será continuamente mudado.

III - Lugar é uma parte do espaço que um corpo ocupa, e de acordo com o espaço, é ou absoluto ou relativo ...”. (NEWTON apud ASSIS, 1998)

O entendimento de espaço no contexto do racionalismo completo está relacionado à compreensão do espaço como algo relativo. Essa abordagem se reflete, por exemplo, no trabalho de Albert Einstein ao elaborar a Teoria da Relatividade. A transição entre o conceito de espaço absoluto e relativo é parte do objetivo central desta dissertação e será aprofundado nas próximas páginas.

Por fim, SOUZA *et al* (2015) apresentam a classificação de uma estrutura abstrata e indeterminada. Um entendimento de espaço probabilístico característico da teoria quântica.

1.2 A evolução do conceito de tempo.

De acordo com os estudos de GHISOLFI (2008), foi possível considerar duas concepções capazes de orientar a forma como dissertamos sobre o entendimento do conceito de tempo no decorrer da história.

O primeiro, mais primitivo, considera o tempo cíclico. Essa noção está intensamente relacionada com a nossa capacidade sensorial de perceber a passagem dos dias, estações do ano e repetição dos fenômenos naturais (GHISOLFI, 2008). Como apontado por ARAGÃO (2011): “*Na antiguidade, o tempo se dava nos ritmos naturais, entre trabalho e vida. O grão deveria ser colhido antes das tempestades. Os céus claros, ou os céus escuros, as sementes amareladas e cheias determinavam, a seu tempo, o movimento da vida.*”

Aristóteles, em perspectiva mais elaborada, contribui para a construção do conceito, ao conceber que o tempo é algo intrínseco ao universo e uma representação do mundo observável. Ele considera como verdadeiro o tempo presente que varia de um momento para outro. Constrói, assim, a ideia de um tempo numeral em movimento, com antes e depois, porém cíclico em sua essência (GHISOLFI, 2008).

O conceito de tempo de estrutura linear, com início e fim, foi adotado pelos hebreus para a demarcação do começo e final da existência de eventos supostamente únicos, como a crucificação, o gênesis e o apocalipse. Essa noção se aproxima da concepção contemporânea da cosmologia marcada pela presença de um *Big Bang* e um *Big Crunch* (GHISOLFI, 2008).

No entanto, Galileu foi o primeiro a introduzir a concepção de tempo como estrutura física fundamental (GHISOLFI, 2008), como destacado por NUSSENZVEIG (2002): “*Nenhum método mais preciso de medir pequenos intervalos de tempo era conhecido até 1581, quando Galileu, comparando as oscilações de um lustre da Catedral de Pisa com o ritmo de seu pulso descobriu o isocronismo das oscilações do pêndulo (...)* A partir desta época começaram a ser construídos relógios de pêndulo, acionados por pesos...”. Antes de Galileu, o tempo não possuía medições precisas para pequenos intervalos, nem os relógios solares e de água utilizados no antigo Egito e Babilônia demarcavam períodos do dia, do ano e grandes intervalos de tempo.

Porém, foi Newton o primeiro a conceituar de forma explícita o tempo da mecânica (GHISOLFI, 2008).

“I - O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e da sua própria natureza, flui uniformemente sem relação com qualquer coisa externa e é também chamado de duração; o tempo relativo, aparente e comum é alguma medida de duração perceptível e externa (seja ela exata ou não uniforme) que é obtida através do movimento e que é normalmente usada no lugar do tempo verdadeiro, tal como uma hora, um dia, um mês, um ano.” (NEWTON apud ASSIS, 1998)

Como apontado por GHISOLFI (2008) e NUSSENVEIG (2002), a definição do tempo absoluto de Newton acaba por colocar, de certa forma, o tempo fora do tempo⁴. Ao contrário do que foi feito por Galileu, o conceito de tempo definido por Newton não está definido em termos de um relógio, que são objetos concretos sujeitos às leis físicas⁵. O tempo absoluto de Newton evoca um conceito platônico⁶.

A definição de tempo de Newton reforça a concepção de um tempo linear e progressivo, indicando um sentido preferencial para a forma como o tempo é capaz de fluir. No entanto, sua formulação matemática permite que este seja reversível. Logo, assim como é possível prever eventos futuros, também é possível concordar com a ocorrência de eventos passados.

Dessa forma, como apontado pelos autores, o tempo de Newton é questionado, tanto pela sua formulação absoluta e independente, como pela aparente ausência de preocupação em estabelecer uma seta indicativa para o sentido preferencial em que o tempo deve fluir.

Na mecânica newtoniana, os sinais se propagam de forma instantânea de um ponto a outro do espaço. Portanto, é possível afirmar que um evento que ocorra em um ponto (A) do espaço será registrado instantaneamente por um observador localizado em um ponto distante (B).

Como será visto na seção posterior, o postulado da constância da velocidade da luz na teoria da relatividade de Einstein resultou em uma crítica natural a essa simultaneidade, pois limita a velocidade com que um sinal é capaz de se propagar entre dois pontos diferentes do espaço, criando um intervalo de tempo limitado entre a

⁴ GHISOLFI (2008) utiliza o termo “tempo fora do tempo” para caracterizar a forma como Newton definia o tempo, absoluto e independente, totalmente autossuficiente em sua própria existência.

⁵ Conforme será visto na próxima seção.

⁶ O tempo sensorial.

ocorrência do evento em um ponto (A) e sua observação em um ponto (B).

“...todos os nossos julgamentos com respeito a tempo são sempre julgamentos de eventos simultâneos. Por exemplo, quando se diz ‘O trem chega aqui as 7 h’, isto significa: ‘A chegada do trem e a observação de que os ponteiros do relógio marcam 7 h são eventos simultâneos’ Até aí não há problema, porque as observações da chegada do trem e do relógio são feitas no mesmo lugar. Mas como podemos saber que dois eventos que ocorrem em lugares diferentes, tais como dois pontos P1 e P2 são simultâneos? ” (NUSENVEIG, 2002)

Dessa forma, o caráter absoluto do tempo é questionado.

Cabe ressaltar, mesmo que não seja o objetivo do presente trabalho⁷, que no mundo microscópico o tempo aparentemente não possui um sentido preferencial. Por outro lado, de acordo com as experiências do mundo macroscópico da termodinâmica o tempo possui um sentido preferencial fluindo do passado para o futuro GHISOLFI (2008).

1.3 A transformação de Lorentz e a Teoria da Relatividade Especial.

Como apresentado por SOUZA *et al* (2011), um segundo momento fundamental na transição entre a concepção de espaço do racionalismo clássico para o racionalismo completo foi a publicação do artigo histórico de Einstein, em 1905. Nesse artigo, ele sistematiza os trabalhos de outros físicos e elabora a Teoria da Relatividade Especial e um princípio básico para a validade das leis da física para qualquer referencial⁸.

Para isso, Einstein teve que solucionar uma aparente contradição entre as leis da mecânica e do eletromagnetismo. O eletromagnetismo de Maxwell apresenta como resultado um valor de velocidade constante para propagação de ondas eletromagnéticas no vácuo.

⁷ Neste trabalho temos como objetivo promover a mudança de uma concepção de tempo absoluto e não relacionado com o espaço – como na concepção de Newton – para o tempo relativo e relacionado com o espaço, conforme a perspectiva de Einstein.

⁸Princípio da relatividade restrita: As leis físicas são as mesmas em todos os referenciais inerciais.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (4)$$

No entanto, como sinalizado por NUSSENZVEIG (1998) é necessária uma discussão sobre em relação a que referencial se estabelece essa velocidade. Supondo a existência de um referencial inercial absoluto, assim como a validade das leis de Newton, encontramos velocidades diferentes para a luz em diferentes referenciais inerciais, mediante transformações de Galileu:

$$c' = c - V \quad , (5)$$

onde c' é a velocidade da luz em um referencial inercial, que se move com velocidade constante, V , em relação ao referencial absoluto no vácuo.

Esse resultado é incompatível com o descrito pela teoria eletromagnética de Maxwell, ou seja,

$$c' \neq c \quad (6)$$

Cabe ressaltar que o resultado correspondente à equação (5) também foi refutado pelo experimento do interferômetro de Michelson e Morley.

Para solucionar o problema da incompatibilidade entre a transformação de Galileu e a teoria eletromagnética, Einstein postula duas leis para a relatividade restrita:

“Einstein chamou de postulado de relatividade a afirmação de que em todos os sistemas de coordenadas em que são válidas as equações da mecânica, também são igualmente válidas leis ópticas e eletrodinâmicas da mesma forma...” (ASSIS, 1998)

“A velocidade da luz no vácuo, c , é a mesma em todas as direções e em todos os referenciais inerciais, e é independente do movimento da fonte. “ (NUSSENZVEIG, 1998).

Einstein opta, então, pela validade da teoria eletromagnética de Maxwell, uma vez que as equações de Maxwell não são invariantes sob transformações de Galileu, e

incorpora em sua teoria as transformações propostas por Hendrik Lorentz:

$$x' = \gamma(x - vt) \quad (7)$$

$$ct' = \gamma\left(ct - \frac{v}{c}x\right) \quad (8)$$

$$y' = y \quad (9)$$

$$z' = z \quad (10)$$

onde $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$.

Em uma rápida análise das equações (7) e (8), podemos observar a introdução de uma concepção de espaço característica do racionalismo completo. Na equação (7) o espaço passa a assumir uma dependência relacionada com o tempo, assim como, um caráter relativo dependente do observador.

As Transformações de Lorentz (TL) apresentam efeitos cinéticos. No caso dos comprimentos, um observador com velocidades próximas a da luz observaria uma contração dos comprimentos sobre a sua direção de movimento, assim como, ocorreria uma dilatação dos intervalos de tempo.

1.4 O espaço-tempo de Minkowski.

Nas equações (7) e (8) a teoria da relatividade restrita aponta para a necessidade de tratar o espaço e o tempo como variáveis relacionadas. No entanto, a ideia da existência de um tecido espaço-temporal foi apresentada por Hermann Minkowski, ao introduzir a representação de um elemento de linha quadridimensional na Teoria da Relatividade Restrita (BRASIL, 2015).

Para uma estrutura tridimensional o elemento de linha, ds^2 , é dado por

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 \quad (11)$$

Em um espaço quadridimensional, o elemento de linha é dado por

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 + dh^2 \quad (12)$$

Ao comparar a equação (12) com a invariância entre dois eventos por transformação de Lorentz, Minkowski introduziu uma interpretação geométrica capaz de apresentar a formulação de um tecido espaço-temporal (NUSSENVEIG, 2002).

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - (cdt)^2 \quad (13)$$

O produto “ cdt ” da equação (13) representa uma quantidade espacial⁹.

A principal dificuldade dessa representação está contida na incapacidade de se produzir uma ilustração de um espaço quadridimensional. Dessa forma, Minkowski opta por utilizar uma métrica onde uma das dimensões espaciais é fixada na origem e adota a relação (BRASIL, 2015)

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 - (cdt)^2 \quad (13),$$

o que pode ser representado em um espaço tridimensional encontrando-se as assíntotas de uma hipérbole de revolução

$$0 = dx^2 + dy^2 - (cdt)^2 \quad (14)$$

Considerando a equação (14), é possível construir um cone de luz¹⁰, conforme a figura a seguir:

⁹ Lembre que o produto entre velocidade e tempo resulta em uma distância. Neste caso “ c ” é a velocidade da luz.

¹⁰ Cone no hiperespaço.

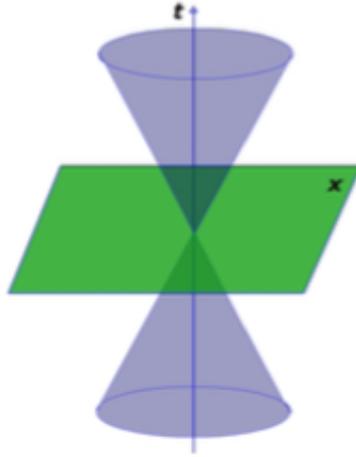


Figura 1: Cone de luz no hiperespaço (BRASIL, 2015).

Na figura, o plano verde representa o tempo presente. Acima do plano estão os tempos futuros e abaixo dele os tempos passados, sendo o tempo uma das coordenadas dos eventos no espaço-tempo.

A interpretação desse resultado pode ser observada considerando o valor de ds^2 na equação (13). Para $ds^2 < 0$ a parte temporal da equação é maior que a parte espacial e se obtém uma linha tipo-tempo. Para $ds^2 > 0$ a parte temporal é menor que a parte espacial e a linha obtida é tipo-espaço. Quando $ds^2 = 0$ a parte espacial é igual a parte temporal, neste caso, tem-se uma linha tipo-luz. Essas possibilidades podem ser observadas na figura 7.

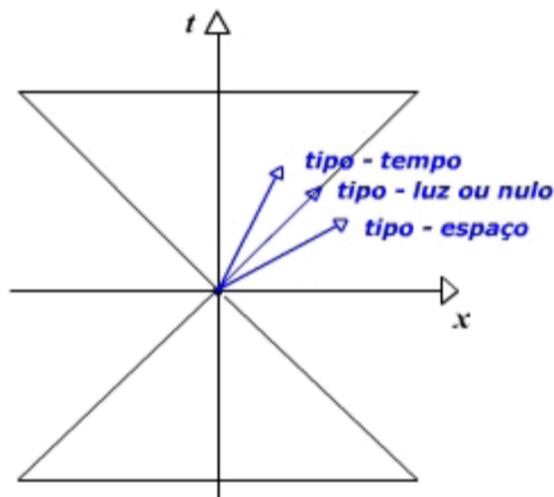


Figura 2: Interpretação do cone de Luz (BRASIL, 2015)

Cada evento gera seu próprio cone de luz e deve respeitar o princípio da causalidade¹¹. Por isso, a linha do universo onde estão representados os eventos possíveis é do tipo-tempo estando sempre contida no interior do cone de luz e, em consequência, ocorrendo a velocidades menores que a da luz.

Considerando a equação (13) e a condição para uma linha tipo-tempo, é possível obter

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - (cdt)^2 < 0 \quad (14)$$

$$dx^2 + dy^2 + dz^2 < (cdt)^2 \quad (15)$$

$$\frac{dx^2 + dy^2 + dz^2}{dt^2} < c^2 \quad (16)$$

$$V_{evento} < c \quad (17)$$

Assim, é reforçada a ideia de uma velocidade limite para os eventos possíveis em nosso universo. Caso um evento ocorra sobre a linha-luz, ele tem que possuir a velocidade da luz. Por outro lado, um ponto que se encontra sobre a linha-espaco, corresponderia a um evento que deveria possuir velocidades maiores que a da luz. Portanto, não seria respeitado o princípio da causalidade.

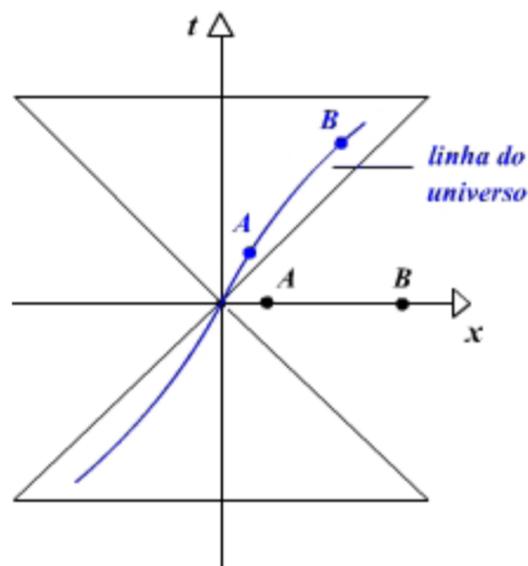


Figura 3: Interpretação da causalidade sobre o hipercone (BRASIL, 2002).

¹¹ Todo evento futuro deve ser causado por um evento passado.

Na figura 3, é possível observar os pontos (eventos) A e B sobre a linha do universo que estão contidos em uma região onde se encontram linhas tipo-tempo. Esses pontos pertencem a retas horizontais distintas e ocorrem um após o outro, respeitando, assim, o princípio da causalidade. Também pode-se observar que os pontos (eventos) A e B sobre o eixo x (horizontal) estão ocorrendo ao mesmo tempo e não respeitam o princípio da causalidade. Esse segundo caso está em uma região onde se encontram linhas tipo-espaço.

Dessa forma, linhas tipo-tempo representam, de acordo com a teoria da relatividade restrita, eventos possíveis em nosso universo.

A partir dessa nova concepção, o tempo e o espaço passam a estar efetivamente conectados, estando o espaço caracterizado por um racionalismo completo e o tempo por um caráter relativo e relacionado ao espaço.

Capítulo 2: Referencial Teórico

2.1 A importância da Motivação na relação de ensino-aprendizagem

Nós, humanos, enquanto seres racionais, necessitamos de estímulos para realizar ações não instintivas. Três teorias se destacam quando buscamos entender o que nos motiva: Teoria da Motivação Extrínseca, Teoria da Motivação Intrínseca e Teoria da Automotivação. A Motivação Extrínseca é aquela que envolve ações externas, como recompensas, enquanto que Motivação Intrínseca está relacionada ao que vem do íntimo. Por fim, a Teoria da Automotivação prevê uma ação conjunta de fatores externos e internos capazes de motivar o indivíduo não só de acordo com os estímulos que recebe, mas de ter convicção em suas escolhas individuais.

De acordo com Carolina Casari (2014), *“A motivação de um indivíduo depende de seus motivos, isto é, de seus anseios, desejos e necessidades. Cada ser humano possui motivações particulares provocadas por inúmeras necessidades. Desse modo, a motivação ou o motivo é o rompante que movimenta uma pessoa, que a coloca em ação ou a faz mudar a direção, e que desperta seu desejo de se transformar.”*. A autora parece mais alinhada à teoria da motivação intrínseca ao dizer que *“No contexto escolar, as atividades devem ser desenvolvidas levando-se em consideração os elementos promotores da motivação intrínseca como apresentar constantemente desafios, promover curiosidade, diversificar planejamentos... jogos educativos e de regras, dinâmicas de grupo e outras situações motivadora”*.

Desta forma, entendemos que estabelecer *motivos* adequados pode levar o indivíduo a criar mecanismos capacitadores na missão de compreender assuntos não intuitivos.

Em contrapartida, atualmente, somos frequentemente superestimulados. Programas de televisão, publicidade, aplicativos, jogos, nos fornecem uma gama de informações propondo um estilo de vida que valoriza aquilo que é prazeroso e instantâneo em detrimento da reflexão que leva ao desconforto, ao questionamento e ao desenvolvimento de soluções. Dentro desse contexto, pensamos que o ambiente escolar está cada vez menos interessante às novas gerações, pois esses já nasceram dentro de uma experiência de vida baseada em respostas prontas e imediatas não exercitando a capacidade de estabelecer uma abordagem reflexiva acerca das coisas.

Em geral, as atividades escolares “São atividades frequentemente árduas e áridas, obrigatórias, exercidas sob cobrança e avaliação externas, em interação constante com outros colegas e com um (a) professora (a). Daí que a motivação no contexto escolar tem características diferentes da motivação em outras áreas, como os esportes, trabalho profissional, artes etc.” (BZUNECK, março/2017)

Sendo assim, precisamos pensar em estratégias que, no contexto do ensino de Física, motivem nossos alunos a querer pensar, querer aprender, pois a ameaça de reprovação ou não ter um futuro auspicioso já não são suficientes quando comparados aos demais estímulos oferecidos por atividades que extrapolam o ambiente da sala de aula (artes, educação física, música, etc.), como jogos on-line ou acesso a redes sociais, por exemplo.

Nesse sentido, Casari ainda indica que a motivação determina os rendimentos, sendo uma atividade intrínseca ao ensino, que deve ser considerada pelo professor, corroborando com a ideia de que a mesma é sempre válida no processo de ensino-aprendizagem na forma de despertar impulsos que levem o aluno a querer participar das atividades escolares. (CASARI, 2014)

A partir disso, entendemos que o papel do professor seria procurar por ferramentas que potencializem a motivação dos alunos. Estas ferramentas transcendem a simples escolha por utilizar o celular, um computador ou, ainda, introduzir diferentes materiais didáticos. Enquanto educadores, devemos fazer escolhas que sejam capazes de promover a transição entre a Motivação Extrínseca e Intrínseca, *“considerando que a motivação que advém de um verdadeiro interesse em aprender é mais permanente e valiosa do que a que vem do interesse em aprender somente para obter recompensas”* (CASARI, 2014)

Motivar alunos é inerente a atividade do professor. Para cada turma deve-se desenvolver uma relação de trabalho, instrumentos deverão ser utilizados a fim de estimular o interesse e tornar positivo o processo de ensino e aprendizagem. Segundo BZUNECK (mar/2017): “a motivação em si não pode ser ensinada, nem treinada, como se fosse uma habilidade ou conhecimento”

Nesse sentido, entendemos como sendo uma promissora estratégia didática, a utilização de ferramentas inerentes à vivência cotidiana do aluno e que conversem com outros saberes. Podemos, ainda, sugerir atividades que explorem o pensamento lúdico relacionado a arte e animação com conceitos de espaço-tempo.

Reforçamos que não pretendemos estabelecer uma receita pronta para motivar os alunos do século XXI. Temos como objetivo apresentar estratégias didáticas que podem

ser eficientes em promover a motivação dos alunos.

2.2 O lúdico como estratégia de ensino

No capítulo anterior foram apresentados alguns aspectos a respeito da evolução dos conceitos de espaço e tempo, partindo da perspectiva do espaço e tempo absolutos e finalizando com a concepção de espaço-tempo como uma construção unificada.

Devido à complexidade de promover a transição entre essas concepções, algumas questões podem ser levantadas: (1) como reter a atenção e interesse dos alunos durante esse processo de transição? (2) como refinar e suavizar a transição entre os conceitos de espaço e tempo? E (3) como levar os alunos à construção do conceito de espaço-tempo?

Para responder a estas questões foi adotada uma estratégia de ação voltada para uma concepção lúdica do ensino, transformando o papel do professor e do aluno, fazendo com que este último assumira o papel de protagonista nos processos de ensino-aprendizagem.

Primeiro temos que observar que o lúdico não está somente relacionado com jogos, brincadeiras ou atividades de lazer. A ludicidade pode ser pensada como forma de interação subjetiva com o mundo, onde o sujeito tem a oportunidade de adquirir conhecimento através de desafios, interações, ações e reflexões:

“É o que acontece quando se aprende a andar de bicicleta, onde estão em “jogo” habilidades físicas (equilíbrio, coordenação motora...) e intelectuais (controle da força, controle dos freios, controle da direção...). Aprende-se na prática a conviver com o momento angular das rodas e o torque para realizar curvas, sem que nenhum desses nomes [termos]¹²apareça. Não se fala “que tal aprender a brincar com o momento angular e com o torque? “, fala-se simplesmente “que tal aprender a andar de bicicleta? “ (RAMOS e FERREIRA, 1998)

RAMOS E FERREIRA (1998) ainda levantam questões sobre o jogo de xadrez. Segundo esses autores, ele pode ser empregado com o objetivo de ensinar uma quantidade considerável de estratégias de pensamento sem mencionar ao sujeito sobre o ato de

¹² Incluído pelo autor deste trabalho.

aprender. Assim, o lúdico estaria relacionado à possibilidade de se resolver problemas e desafios do cotidiano numa atmosfera de “prazer” vivenciado pelo sujeito. Neste sentido, o sujeito passa a ser agente de sua prática de ensino (ZEICHNER, 2013).

Dessa forma, optamos por introduzir a Arte como ferramenta motivadora para provocar a interação lúdica do aluno com a evolução dos conceitos de espaço e tempo.

2.3 Arte e física, interações possíveis.

Para compreender algumas das possíveis relações entre Física e Arte é fundamental que o diálogo entre esses campos aborde questões de cunho histórico, além daquelas que envolvem atributos técnicos (BARBOSA, QUEIROZ e SANTIAGO, 2007). Contudo, para não nos estendermos por demasiado no levantamento dessas questões, estaremos nos restringindo a promover um aprofundamento somente sobre os aspectos pertinentes a fundamentação deste trabalho.

De início, destacamos a definição de arte apresentada por GOMES, DI GIORGI e RABONI (2011): *“Pode-se dizer que arte é a manifestação de ideias e filosofias, a representação do mundo da forma como cada um o vê, utilizando um talento peculiar e individual...”*.

Para os autores, a física pode ser entendida como uma forma de arte que tem o *“talento de descrever e pintar como o universo funciona”*. (GOMES, DI GIORGI e RABONI, 2011)

De fato, esta relação entre a representação dos fenômenos naturais – ou experiências cotidianas – e a pintura remonta à pré-história, quando o homem, através de traços leves com linhas curvas, soltas e rápidas, teve a preocupação de representar seu cotidiano (GOMES, DI GIORGI e RABONI, 2011)¹³.

Na idade média, a pintura foi marcada por sua tradição de representar fatos religiosos:

“Os valores da pintura Bizantina, como a religião, o céu sagrado e a representação de Deus na Terra, nas figuras de imperadores e sacerdotes venerados como santos, são fortemente afetados pelas pinturas feitas por volta de 1300. “ (GOMES, DI GIORGI e RABONI, 2011).

¹³ GOMES, DI GIORGI e RABONI (2011) apontam para o fato da técnica de traçado pré-histórica se caracterizar por representar o cotidiano em movimento.

O Renascimento retorna valores da antiguidade clássica, em virtude da preocupação dos artistas em representar a perfeição estética do homem e seus hábitos¹⁴.

A introdução da *perspectiva* na pintura renascentista representou o domínio da tridimensionalidade (GOMES, DI GIORGI e RABONI, 2011), assim como, o ideal humanista representou um rompimento com a visão de mundo medieval:

“Antes do movimento renascentista, a cosmologia medieval dividia o universo em dois mundos diferentes: o sublunar e o supralunar. Eles eram incomunicáveis e as leis que valiam em um mundo não valiam no outro. A pintura dessa época também procedia da mesma forma, representando um céu que não tinha continuidade com a Terra. Em várias pinturas o céu é dourado, simbolizando o sagrado que não estava acessível ao mundo terrestre, mundano e corruptível.

Já a pintura renascentista inventa a perspectiva e, com isso, a possibilidade de pensar e representar a infinitude do espaço. Percebemos uma mudança radical da concepção espacial. A partir do Renascimento, o espaço é infinito. A criação da perspectiva possibilitou representar essa infinitude, não sendo mais possível distinguir claramente o limite entre Terra e céu, porque esses mundos não parecem mais incomunicáveis como eram na cosmologia medieval-aristotélica. “ (REIS, 2006)

LAGO (2013) e REIS (2006) concordam em apontar a representação da lua de Galileu como um evento que marca a forte relação entre ciência e arte no período do renascimento. Galileu, o autor das imagens (c) e (d), figura 4, era herdeiro do conhecimento de uma escola artística que havia desenvolvido o trabalho com o claro e o escuro. Por outro lado, Thomas Harriot, autor das imagens (a) e (b), vivia na mesma época, mas estava inserido em outro contexto, pois na Inglaterra o desenvolvimento da pintura possuía pouca influência do movimento renascentista.

¹⁴As artes na antiguidade clássica estavam voltadas para a escultura e cerâmica. Os desenhos feitos em vasos representavam o cotidiano da sociedade e as esculturas procuravam a perfeição estética na representação do homem e de seus deuses (A. JARDE; A Grécia Antiga e a vida grega. São Paulo, Epu, 1977.)

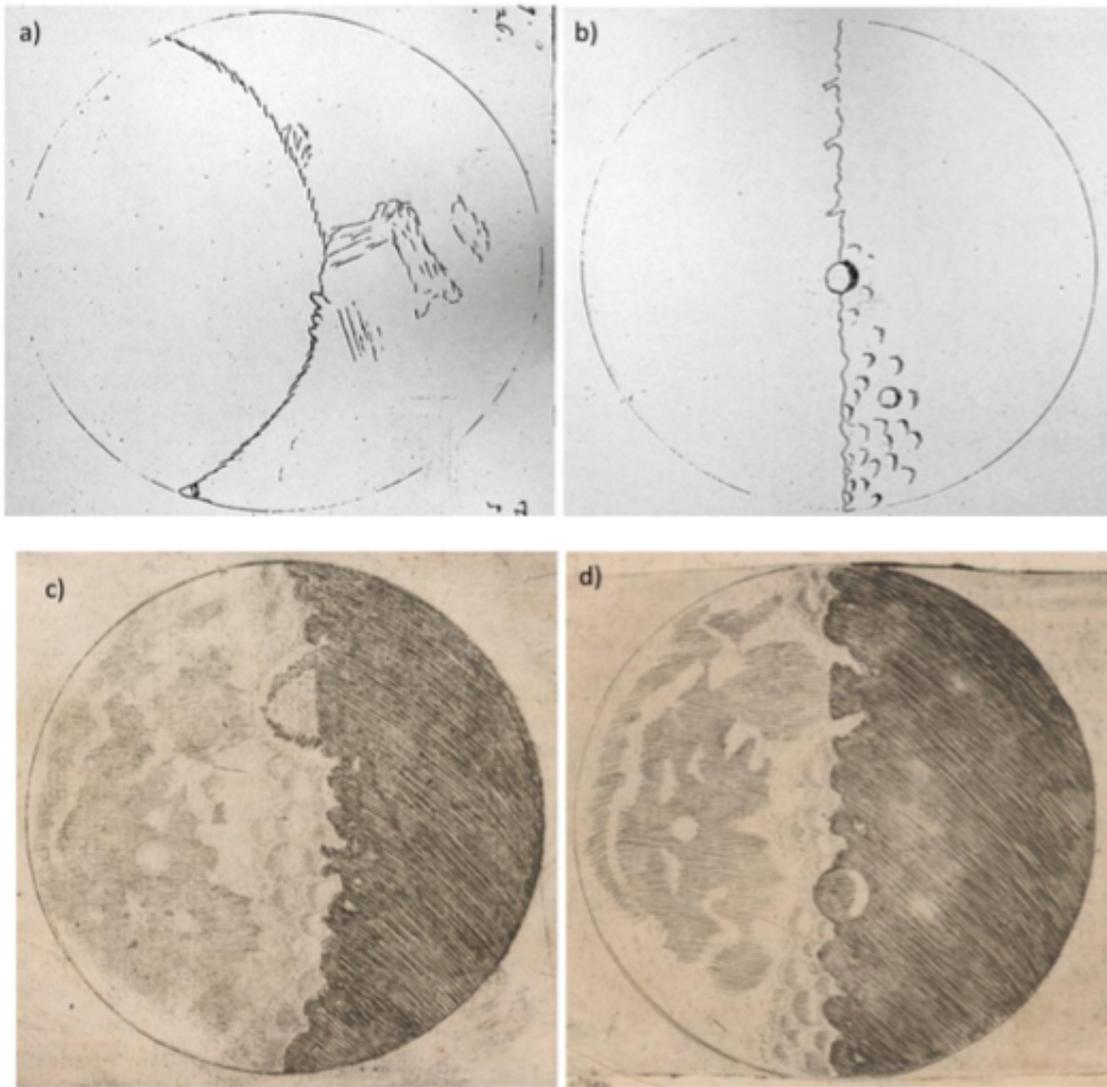


Figura 4: Figuras retiradas de Lago (2013) - Dissertação de Mestrado.

LAGO (2013) reforça a relação entre “ver” e “saber ver” considerando os conhecimentos prévios de Galileu ao retratar a observação da lua:

“Neste episódio, além do próprio debate sobre a aparência lunar como parte da construção histórica do conceito, podemos destacar outros dois pontos; a questão entre “ver” e “saber ver” para a nova elaboração conceitual e o papel da experiência pessoal prévia na busca de um significado, mesmo este sendo um “fato” científico.

Isso mostra que um determinado conceito-atividade não emerge de qualquer atividade, mas que as condições concretas determinam algumas das conceituações possíveis. “ (LAGO, 2013)

O período renascentista é marcado pela forte preocupação com a estética da representação. Essa marca se estendeu por anos acompanhando a construção do conhecimento científico em seu esforço de descrever de forma cada vez mais precisa os fenômenos naturais observáveis.

No século XVIII, a consolidação da ciência nos moldes do racionalismo filosófico apresentado por Newton passa a influenciar a produção de conhecimento. Na arte, a escola do Classicismo representou esta tendência (REIS, 2006).

O advento da fotografia, em 1824, trouxe a necessidade de que os movimentos artísticos modificassem sua forma de representar a realidade passando a não ter como preocupação central a estética (REIS, 2006). Claude Monet é um dos grandes representantes dessa nova tendência artística:

“... Claude Monet investigou a dimensão do tempo na pintura. Ele acreditava não poder recriar a essência dos objetos pintando-os apenas em um momento congelado. Era preciso mostrar como o objeto mudava no tempo” (REIS, 2006).

Monet dedica parte de seu trabalho, a produzir séries de pinturas capazes de representar a transição de um objeto ao longo de um tempo linear associado aos movimentos da Terra em torno do Sol – ou do próprio eixo – e à luminosidade deles decorrente, como apresentado nas figuras 5 e 6.



Figura 5: Série "Pilha de feno" retirada da internet (Google imagens) em 06 de abril de 2016



Figura 6: Série "Catedral de Ruão" retirada da internet (Google imagens) em 06 de abril de 2016.

De alguma forma, Monet apontava para a necessidade de se considerar o tempo como parte da representação de um objeto ao longo de sua história. No entanto, para ele, o tempo ainda possuía um caráter essencialmente linear. O objeto localizado no espaço mudava no decorrer do tempo, sendo o tempo independente do objeto e de sua posição no espaço.

Como podemos observar na obra de Monet, a luminosidade foi a chave para conectar a representação do objeto com o tempo. De fato, a investigação sobre a natureza da luz torna-se uma preocupação das escolas artísticas motivada por uma busca sobre o domínio das cores (GOMES, DI GIORGI e RABONI, 2011):

“(...) alguns pintores estavam fazendo experiências pictóricas, assim como uma nova reflexão sobre o conceito de pintura. Por um lado, para criticar o movimento do realismo que vigorava na época, o qual tratava a arte com a frieza de retratar a realidade sem sentimentos, e por outro, porque queriam encontrar a essência das cores. Eles passam então, de forma empírica, científica e emocional, a estudar a luz e as cores em suas telas (...)” (GOMES, DI GIORGI e RABONI, 2011).

Assim, se estabelece uma aproximação entre a Física (ciência) e a Arte. O Cubismo pode ser considerado o movimento que marcou essa unificação. A partir de Picasso e Braque, a tentativa de fundir arte e ciência influenciou toda arte intelectual do século XX (REIS, 2006):

“O Cubismo pode ser comparado à invenção revolucionária da perspectiva na Renascença. A pintura cubista fracionou a apreensão da realidade, ao representar simultaneamente partes dos objetos que não poderiam ser vistas ao mesmo tempo e que até então estavam bem localizadas no espaço e definidas no tempo. Uma vez que os pedaços desse fracionamento não puderam mais ser reagrupados, a totalidade da percepção não se resumiria a uma mera soma das partes. Houve um assalto à noção de simultaneidade dos observadores.

*Podemos ver que Picasso transcendeu Monet na representação temporal que este introduziu na pintura. Enquanto Monet pintou vários quadros para mostrar a temporalidade do espaço, Picasso colocou a simultaneidade, a junção espaço-tempo num único quadro. No *Les Femmes d'Alger (O Grande O)*, de 1907, a mulher agachada está representada, ao mesmo tempo, de perfil e de frente. “ (REIS, 2006)*



Figura 7: Les Femmes d'Alger, Picasso. Retirado da internet (google) em 6 de junho de 2016.



Figura 8: Obra de Picasso sem título, retirada da internet (google) em 6 de junho de 2016.

De fato, como podemos perceber na figura 8, Picasso passa a representar a simultaneidade de eventos. A mulher da figura está, ao mesmo tempo, de frente e de lado, embora também seja possível interpretar que ela esteja em constante mudança de posição. De qualquer forma, podemos perceber uma espécie de rompimento em relação à representação do espaço e do tempo como se estes fossem absolutos.

De acordo com Reis (2006), “alguns pintores cubistas admitiram claramente a influência das geometrias não euclidianas” voltando-se para a matemática como um guia e para a ciência como um modelo.

O movimento surrealista representou uma espécie de fusão entre ciência e arte. Esse movimento apropriou-se de conceitos como a complementaridade e o princípio da incerteza da mecânica quântica (REIS, 2006), entre outros.

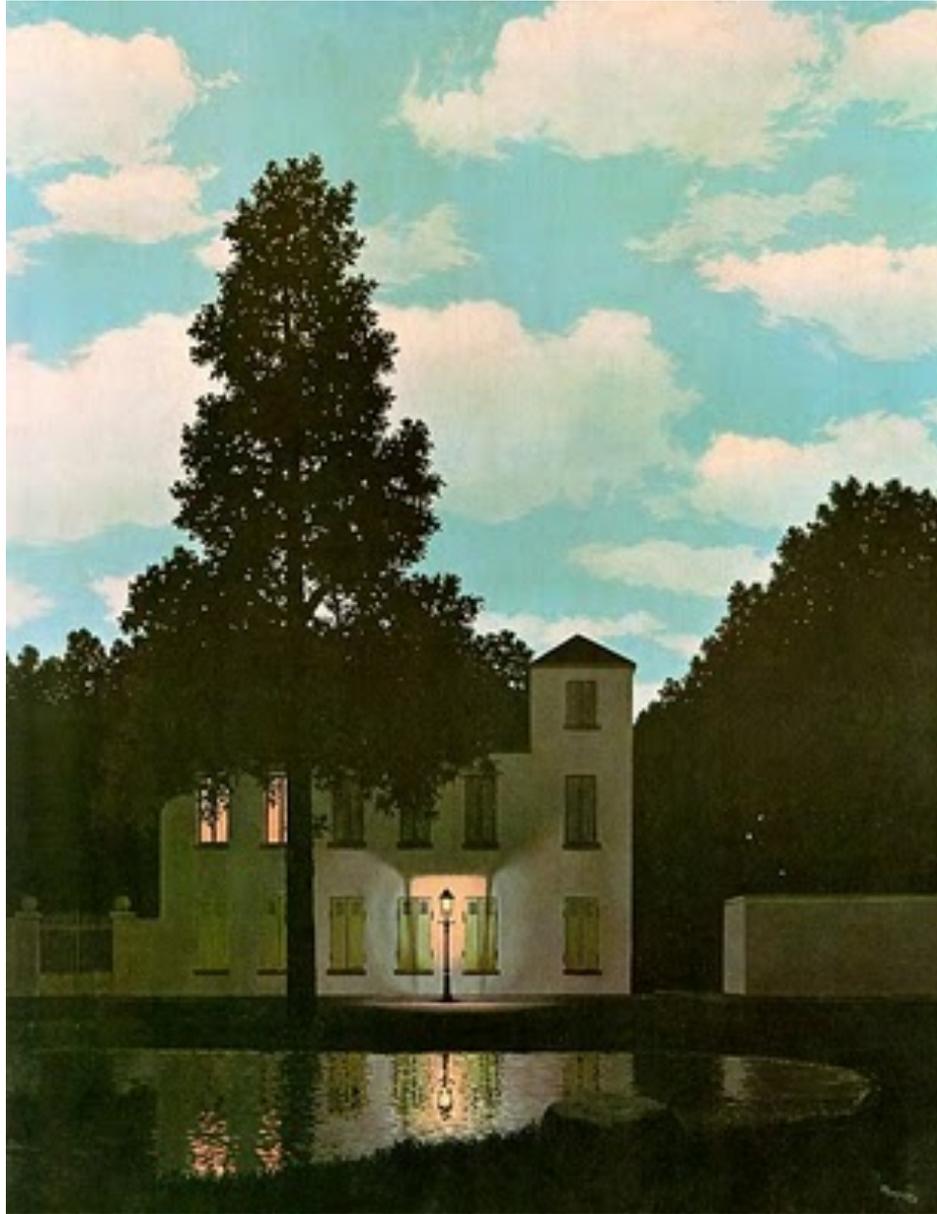


Figura 9: "O império das luzes" de René Magritte. Retirado da internet (google) em 6 de junho de 2016.

A figura 9 apresenta uma obra de Magritte que claramente explicita representações aparentemente opostas: *“Sabemos que não podemos ter noite e dia simultaneamente, mas também sabemos que só percebemos a noite porque existe o dia. Noite e dia são noções que não existem isoladamente. Podemos dizer que, mais do que opostos, noite e dia são conceitos complementares.”* (REIS, 2006)

Na obra *“Espanha”* (veja figura 10), Salvador Dalí constrói uma superposição de cenas que não permitem a compreensão do todo. Quando nos concentramos em observar a mulher apoiada no armário não conseguimos observar os detalhes das batalhas que são

traçadas em seu interior¹⁵. Por outro lado, ao focarmos nossa atenção nas batalhas perdemos a percepção da mulher (REIS, 2006). Desta forma, Dalí se apropria do princípio da superposição e da incerteza.



Figura 10: "Espanha" de Salvador Dalí. Retirado da internet em 6 de junho de 2016.

¹⁵ O termo interior é utilizado por Gomes et al (2011) para retratar os eventos que ocorrem ao fundo do quadro.

Na obra a “*A desintegração da persistência da Memória*”, Dalí faz uma nítida menção à teoria da relatividade ao representar relógios moles¹⁶ e à teoria quântica pelo chão em blocos (GOMES, DI GIORGI e RABONI, 2011).

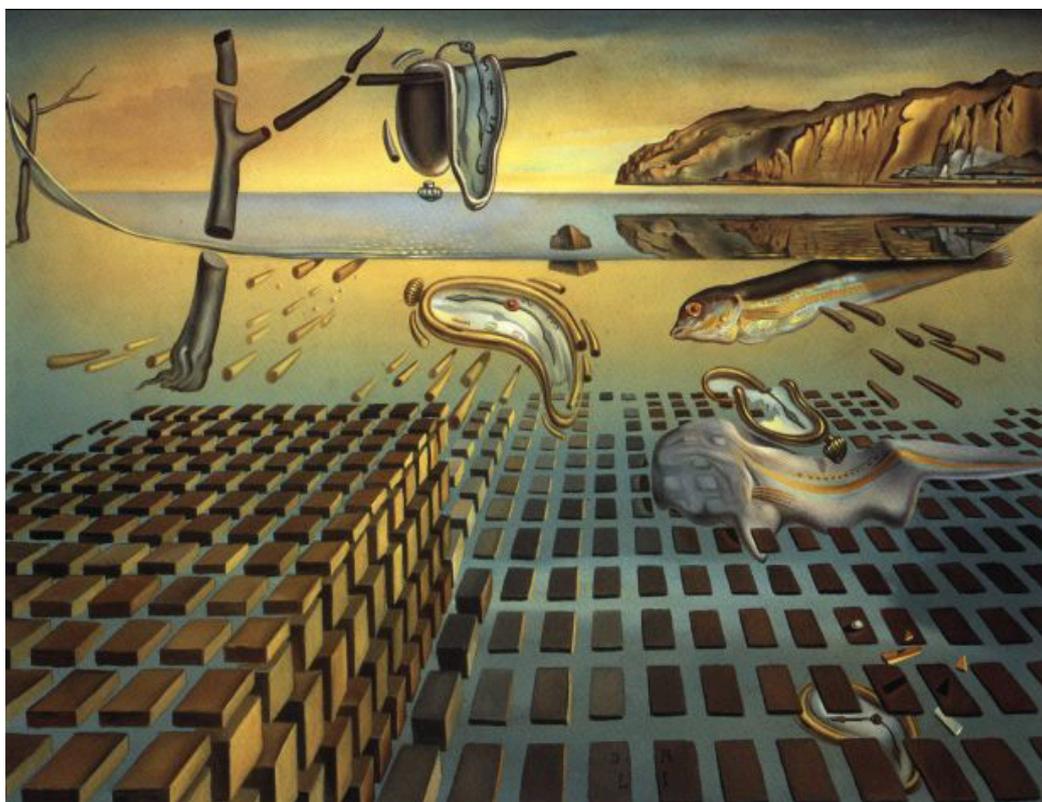


Figura 11: “*A desintegração da persistência da Memória*” de Salvador Dalí. Retirada da internet (google) em 6 de junho de 2016.

De fato, Dalí era um estudioso das teorias físicas. Em 1941, escreveu um artigo para a revista *O Uso da Palavra* intitulado *As ideias luminosas*, onde mostrou ser conhecedor dos trabalhos sobre a natureza da luz de Newton a Einstein (GOMES, DI GIORGI e RABONI, 2011), demonstrando a evidente conexão entre a Física e a Arte no século XX.

¹⁶ Ainda que em vários artigos na área de Física, seja usual relacionar os “relógios moles” com a relativização do tempo, o próprio Salvador Dalí ressaltou que “o formato derretido dos relógios” derivava “da imagem de um queijo *Camembert*, que ele observava enquanto pintava a tela (BATISTA *et al*, 2015).

Capítulo 3: Apresentação do produto

3.1 Etapa 01: A representação do conceito tempo-espaço nas pinturas/artes

Essa primeira etapa tem como objetivo levar os alunos a se questionarem sobre a relação entre tempo e espaço, observando as representações destes a respeito da obra de pintores renomados.

Primeiramente, os alunos são colocados em contato com a escola clássica do renascimento e sua preocupação predominante com a estética. Em seguida, é apresentado o esforço de Monet em capturar o efeito¹⁷ do tempo. Por fim, devem observar o trabalho de Picasso, no qual ele *distorce* o espaço para representar dois ou mais instantes de tempo em uma mesma pintura.

Picasso rompe com a tendência do ideal estético da pintura – como apresentado no capítulo 2 – transcendendo a intenção de Monet com a construção de séries de pinturas na tentativa de representar a evolução temporal do que é observado. Picasso representa ao mesmo tempo dois instantes de tempo (REIS, 2006); algo originalmente impossível, por exemplo, para a fotografia – que foi responsável pela mudança de tendência da pintura (REIS, 2006).

Após a invenção da fotografia, diversos pintores passaram a se preocupar em representar o que não poderia ser registrado na imagem “congelada” da foto (REIS, 2006).

Com a intenção de incorporar essa questão no desenvolvimento do nosso trabalho e explorar o lado lúdico, apresentaremos aos alunos a proposta de que eles reproduzam determinada pintura com o auxílio de técnicas de fotografia.

Para esclarecer como a proposta de atividade deve ser desenvolvida, iremos sistematizar as etapas a serem cumpridas na tabela 2.

Tabela 2: Roteiro de apresentação das obras aos alunos.

<i>Ordem de apresentação</i>	<i>Obra</i>	<i>O que deve ser questionado.</i>
1	Mona Lisa (Leonardo Da Vinci) – Figura 12	

¹⁷ Segundo Reis *et al* (2006), Monet tinha a preocupação de representar o que era observado considerando sua transição no tempo.

2	Série "Pilha de feno" (Monet) – Figura 5	1) Quais das obras apresenta uma sensação de movimento? De que forma você justifica sua escolha?
3	Sem título (Picasso) – Figura 8	2) De que forma você deve proceder para montar uma <i>releitura</i> ¹⁸ destas obras com modelos humanos e/ou objetos?

A ordem de apresentação tem caráter organizacional e o aspecto importante desta atividade consiste no esforço empreendido pelos alunos na comparação das obras e suas características¹⁹.

Com a primeira pergunta – tabela 2 – temos a intenção de levar os alunos a refletir sobre a representação do tempo nos três casos.

Monalisa, a obra renascentista da figura 12 (abaixo) está “congelada” no tempo – na pintura só está representado um único instante de tempo – e a preocupação central da obra é a estética. Em “*Pilha de feno*” (página 22), a preocupação estética continua presente, porém ocorre um esforço, por parte do pintor, de representar a evolução linear do tempo. Na obra de Picasso estão de representados dois instantes de tempo em uma mesma imagem²⁰.



Figura 12: Mona Lisa de Leonardo Da Vinci. Retirada da internet (Google) em 11 de junho de 2016

¹⁸Por releitura entende-se reproduzir a obra original utilizando-se da fotografia.

¹⁹ Com isso, os alunos são levados a sistematizar as diferentes formas de representar o tempo e um debate sobre a relevância de cada uma destas estratégias.

²⁰ Provavelmente os alunos terão dificuldade em perceber esse efeito. Para provocar essa percepção o professor pode questionar os alunos quanto a posição da figura presente na pintura (de frente ou de perfil?).

Após discutir os aspectos apresentados acima, o professor deve introduzir a segunda pergunta da tabela 2. Essa pergunta sugere uma atividade prática que pode ser facilmente realizada com auxílio dos aparelhos de celular. Para facilitar, o professor pode dividir os alunos em grupos e sugerir que cada um dos grupos se dedique à montagem da *releitura* de uma das obras – um mínimo de 3 grupos. Neste caso, ao final da atividade é importante que os grupos sejam orientados a descrever a forma como conseguiram reproduzir a obra indicada, além de apresentar a reprodução aos demais colegas de classe.

O grupo que ficar com a obra de Picasso talvez tenha maior dificuldade de executar a atividade, caso seja assim, essa dificuldade deve ser explorada pelo professor. Neste ponto, é introduzida uma reflexão sobre a deformação do espaço para que a incerteza sobre a posição da mulher seja interpretada como sendo correspondente à dois instantes de tempo (ou uma transição entre estes) em uma mesma região do espaço.

Para promover essa atividade o professor deve atuar como um orientador, favorecendo a participação do aluno e construindo perguntas que encaminhem a discussão na direção do objetivo esperado na atividade (ZEICHNER, 2003).

Com a *releitura* fotográfica das obras, espera-se que os alunos percebam a necessidade de promover uma redefinição sobre suas concepções de espaço e tempo.

Por fim, o professor pode introduzir um conjunto de perguntas para avançar nesta discussão: (1) Na obra de Monet o tempo é apresentado de forma linear, o que seria, então, um tempo cíclico? (2) Como você descreveria a forma como o tempo está representado na obra de Picasso? (3) Em qual das obras existe maior relação entre o tempo e a representação do espaço? Por que?

3.2 Etapa 02: Animação e a construção do diagrama espaço-tempo.

O objetivo nesta unidade é construir a linha de universo de um evento utilizando a técnica de animação em *stop-motion*²¹. A *figura 13* ilustra a construção das fichas que dão origem à animação. Na transição entre uma ficha e outra é possível observar o descolamento do ponto da esquerda para a direita sobre um eixo horizontal de referência.

²¹Todo o processo de confecção pode ser realizado pelo aluno ou pelo professor e está descrito de forma detalhada no segundo anexo deste trabalho. Não é necessário que o desenho seja uma representação elaborada e o mesmo também pode ser confeccionado com facilidade em um editor de texto como o Microsoft Word.

Cada quadro (numerado) que compõe a imagem 13 apresenta uma cena da animação. A seta representa o eixo pelo qual a imagem do ponto (circunferência) se move em cada cena da animação. A numeração auxilia o professor e/ou o aluno a ordenar as fichas após seu recorte. A imagem da figura 14 apresenta as fichas em ordem e agrupadas (blocos). Estes blocos serão utilizados para produzir o efeito da animação através da técnica *stop-motion*.

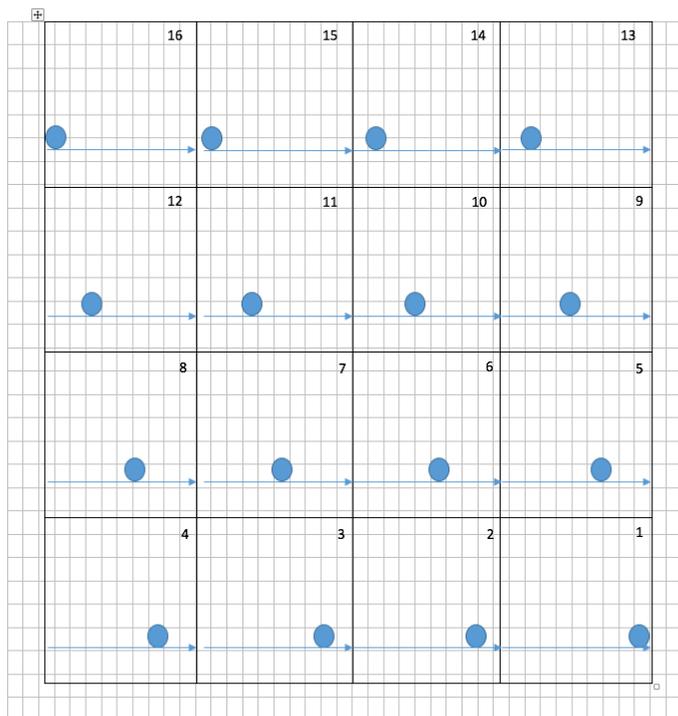


Figura 13: Imagens confeccionadas no Microsoft Word



Figura 14: bloco de fichas de imagens.

Após a animação ser executada, damos início a uma discussão sobre aspectos relacionados à evolução temporal das imagens.

O primeiro aspecto relevante está relacionado a necessidade de uma velocidade adequada para que a transição das imagens/fichas (animação) ocorra sem a perda de sua lógica natural de transição.

A análise da necessidade de uma velocidade adequada encaminha a discussão lúdica da relação de causa e efeito, assim como, da necessidade de uma velocidade limite para que a causalidade seja respeitada.

Em seguida, será iniciada a construção do diagrama espaço-tempo do evento observado (animação). Com este diagrama o alunado será instruído a traçar a linha de universo do evento (figura 15), assim como, será levado a discutir sobre seu significado compreendendo a forma como a linha de universo representa a evolução de um evento no diagrama espaço-tempo.

A figura 15 apresenta a construção esperada do aluno tendo o eixo espaço na horizontal (abscissas), o eixo tempo na vertical (ordenada) e a linha de universo seguindo a evolução espaço-temporal da animação.

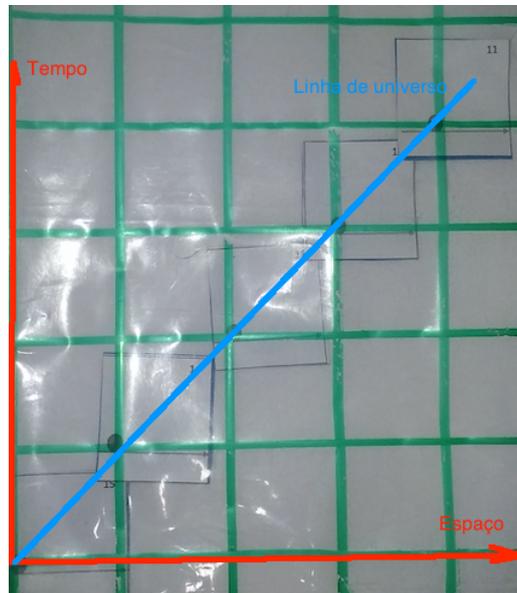


Figura 15: Linha de universo da animação

Para a construção do diagrama espaço-tempo (figura 15) será feito uso de um papel plástico transparente e de caneta para escrita em quadro branco de cores diferentes. Com uma das cores se constrói a região quadriculada do fundo, com outra os eixos e com uma terceira é traçada a linha de universo do evento.

O traçado da linha de universo é realizado após o aluno colocar cada cena da animação (fichas) sobre as interseções das linhas construídas no plano de fundo (região quadriculada).

A região quadriculada (de fundo) apresentada na figura 15 deve possuir suas linhas paralelas e igualmente espaçadas, pois o encontro de suas linhas horizontais e verticais será utilizado pelo aluno como referência para posicionar suas fichas de imagens (figura 15).

Com o intuito de facilitar a interpretação do aluno a disposição das fichas (imagens que compõem a animação) deve ocorrer de forma a manter o eixo temporal na vertical e orientado de baixo para cima²².

Após a construção do diagrama, o professor deve propor uma atividade de comparação entre o diagrama proposto na interpretação geométrica de Minkowski (figura 3) e o diagrama construído pelos alunos. Retomando, neste ponto, a discussão sobre a presença de uma velocidade limite e, assim, caminhar para a discussão da causalidade, seguindo o diagrama de Minkowski e introduzindo a ideia de que linhas de universos possíveis de ocorrer em nosso universo devem respeitar a razão pela qual tais eventos ocorrem.

Neste ponto, se torna interessante uma apresentação formal dos conceitos apresentados pelo diagrama de Minkowski e logo após, é finalizada esta etapa (segundo encontro/aula).

3.3 Etapa 03: Modificando o diagrama espaço-tempo.

Tendo em mãos o diagrama espaço-tempo construído na etapa anterior, o professor, deve propor a construção de um novo diagrama com suas linhas de fundo modificadas (alteração na inclinação das linhas verticais) com o objetivo de representar uma modificação da perspectiva do observador (mudança de referencial).

O resultado esperado a partir da confecção deste novo diagrama pode ser observado na figura 16.

²² No Ensino Médio, em geral, o eixo temporal é orientado na horizontal. Uma disposição diferente pode necessitar de alguma intervenção complementar comprometendo o tempo disponível para a aplicação.

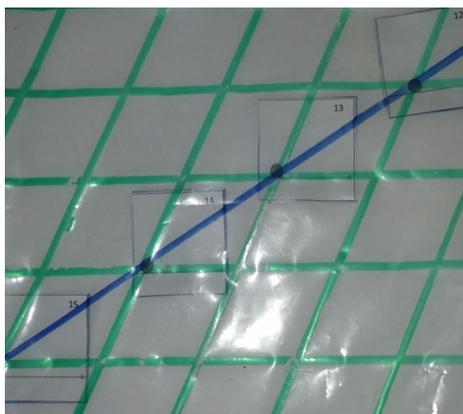


Figura 16: diagrama espaço-tempo B

Neste momento, cabe introduzir uma discussão sobre a forma como um evento deve se manter inalterado, independente do referencial garantindo, assim, que a linha de universo também se mantenha de forma inalterada.

Com a modificação do referencial, as linhas de universo do evento passam a não coincidir por simples comparação direta entre as construções A e B realizadas na primeira e segunda etapas da aplicação (figura 17).

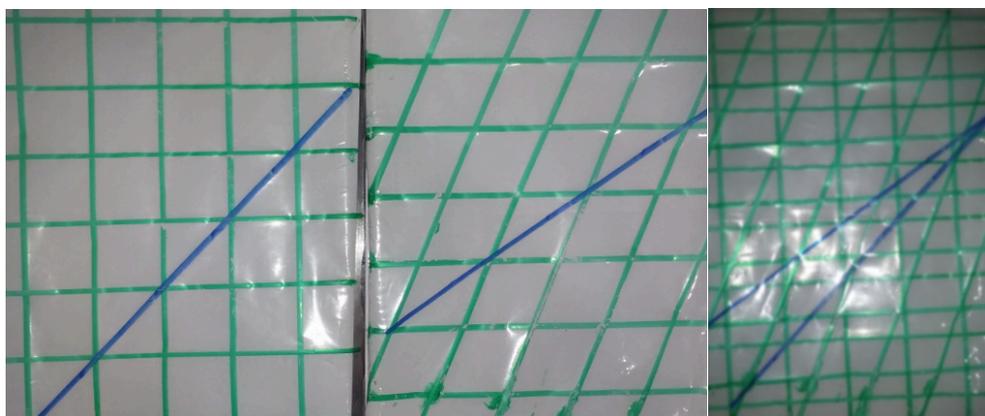


Figura 17: Comparação entre as linhas de universo.

Nesse momento, fica a cargo do professor propor aos alunos que encontrem uma forma de fazer com que as linhas de universo coincidam, ou seja, que fiquem sobrepostas.

Uma possibilidade é de inclinar uma das folhas até que as linhas fiquem sobrepostas (figura 18).



Figura 18: sobreposição das linhas de universo.

Ao inclinar a folha fazendo com que as linhas de universo coincidam, provocamos uma modificação simbólica da estrutura do espaço-tempo.

A partir de então, temos avançado o suficiente para discutir a forma como o espaço e o tempo devem ser compreendidos como uma estrutura única, assim como, sobre a necessidade de garantir a existência de eventos únicos que representam linhas de universo idênticas.

Capítulo 4: Aplicação e análise.

4.1 Condições adversas do período de aplicação.

Antes das considerações sobre a aplicação do produto e a análise de seu impacto juntos aos alunos, creio que seja pertinente apresentar algumas questões particulares relacionadas ao contexto político e econômico do ano de 2016 e que interferiram diretamente neste processo.

O primeiro, e parte do segundo, semestres de 2016 foram marcados por uma extensa greve dos professores estaduais em consequência das dificuldades financeiras do estado do Rio de Janeiro. Essa situação afetou diretamente o pagamento dos salários, promovendo em alguns momentos o seu calote e o parcelamento.

A greve teve duração de aproximadamente 5 meses (de março a julho) e mesmo após seu término as condições adversas permaneceram ocasionando a perda de dias letivos, seja por falta de alimentos, por questões estruturais ou pelo esvaziamento da escola (perda de alunos).

Estas questões somadas aos jogos olímpicos, feriados e as eleições municipais provocaram sequelas importantes na rotina escolar e fragmentaram o processo de aplicação do produto.

Embora fosse possível estabelecer estratégias de contorno, essas encontraram-se sufocadas pela necessidade do cumprimento dos conteúdos programáticos obrigatórios.

Sendo assim, ao longo de 2016 foi possível fazer uma aplicação parcial do produto. A primeira etapa foi aplicada e finalizada, a segunda etapa foi iniciada e não finalizada e a terceira etapa não foi aplicada.

Retomamos os trabalhos integralmente no início de 2017 em turmas distintas na rede SEEDUC e na FAETEC (aqui vale ressaltar o início tardio das aulas -6 de março-, pois não havia condições básicas para a realização das mesmas, a saber: não pagamento de servidores e demais funcionários, falta de segurança, de alimentos, de materiais).

Todos esses acontecimentos descritos acima afetaram diretamente a produção deste trabalho. Não somente por provocarem importantes alterações no cotidiano pessoal, mas também desestimularem os alunos. Como dissemos anteriormente, um ambiente escolar saudável é, sem dúvida, fator relevante para que os indivíduos sintam-se motivados a aprender e produzir conhecimento.

4.2 Aplicação da primeira etapa.

A primeira etapa do trabalho foi aplicada no segundo semestre do ano de 2016 e dela participaram um total de 4 turmas. As turmas envolvidas foram nomeadas como turmas A, B, C e D e o nome dos alunos não foi registrado.

A tabela 3 apresenta uma descrição das características de cada uma das turmas na qual o trabalho foi implementado.

Tabela 3: perfil do público alvo.

Turma	Série	Características
A	2º ano	Turma de ensino médio de uma rede particular de ensino com 43 alunos e carga horária diferenciada que apresenta ênfase nas disciplinas Física, Química e Matemática
B	1º ano	Turma de ensino médio técnico da rede pública de ensino com 38 alunos e carga horária diferenciada com disciplinas voltadas a formação técnica em eletrônica
C	1º ano	Turma de ensino médio regular da rede pública de ensino com 25 alunos.
D	1º ano	Turma de ensino médio regular da rede pública de ensino com 25 alunos.

Em todas as aplicações, assim como, em todas as etapas, os alunos foram divididos em grupos e tiveram liberdade para realizar a escolha dos componentes de cada grupo. Em média, cada grupo possuía cinco alunos.

A aplicação ocorreu como descrito no capítulo 3 e as imagens foram projetadas (Datashow) de forma ampliada sobre um quadro branco.

A necessidade de promover adaptações surgiu durante o processo de aplicação. Ocorreram duas adaptações. Em um caso particular, envolvendo o grupo B, a adaptação foi sugerida por um professor de física que acompanhou a atividade, como será apresentado a seguir.

A primeira adaptação ocorreu após a aplicação na turma A. Durante a exposição ficou nítida uma necessidade de apresentar de forma mais profunda o contexto histórico

envolvido na construção de cada uma das imagens. Como resultado foi introduzida uma linha do tempo junto as imagens (*anexo I*).

A segunda adaptação ocorreu por sugestão de um professor colaborador. Este introduziu uma dinâmica para a observação das imagens.

A dinâmica sugerida envolve as imagens de Da Vinci e Picasso e favorece a diferenciação de suas características. Nesta, o aluno, caminha pela sala de aula em uma linha paralela a projeção enquanto observa as imagens. Este procedimento revela a sensação de ser ou não acompanhado pelo olhar da pintura. Na obra de Da Vinci (*Dama com arminho*, figura 19) temos a sensação de que seu olhar não acompanha o movimento, enquanto, na obra de Picasso (*sem título*, página 26) temos a sensação de que a imagem muda de posição acompanhando o movimento.

Uma outra sugestão deste mesmo professor, foi a troca da imagem da “Monalisa” pela imagem da “*Dama com arminho*”, utilizada na aplicação. O mesmo, ponderou sobre questões técnicas que envolvem a pintura da “*Monalisa*” considerando que o efeito fica mais nítido utilizando a imagem da “*Dama com arminho*”.

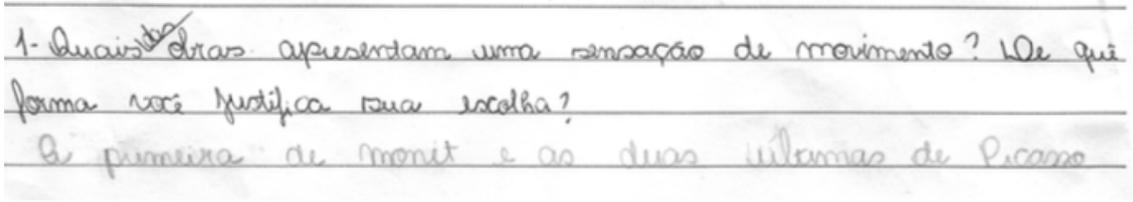


Figura 19: “*Dama com Arminho*” de Leonardo Da Vinci

A influência desta modificação pode ser observada na resposta dos alunos. Para as perguntas “ *Quais das obras apresenta uma sensação de movimento? De que forma você justifica sua escolha?* ” foram obtidas mudanças significativas nas respostas.

A imagem abaixo, seguida da transcrição do texto, (caixa de texto 1) apresenta algumas das respostas antes da modificação. Nestas, os alunos, identificaram a ideia de

movimento tanto das obras de Picasso como de Monet e, em alguns casos, como o exemplificado, destacaram somente Monet.



1. Quais obras apresentam uma sensação de movimento? De que forma você justifica sua escolha?
A primeira de Monet e as duas últimas de Picasso

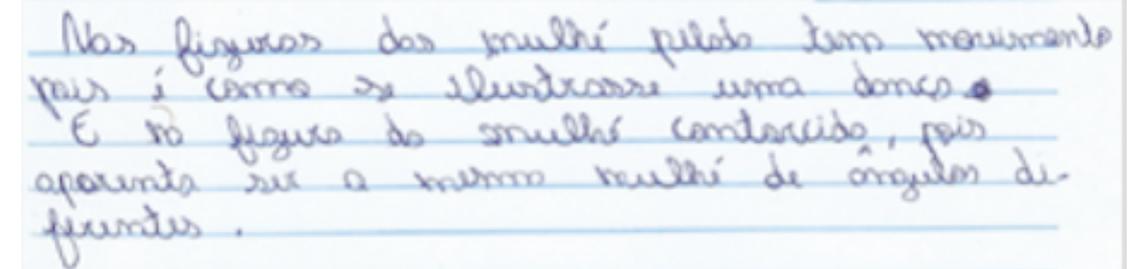
“A primeira de Monet e as duas últimas de Picasso”

4) Monet, é perceptível através da vegetação e o sombreado.

“Monet, é perceptível através da vegetação e o sombreado.”

Caixa de Texto 1: Resposta dos alunos a pergunta e a transcrição logo a baixo.

Após as modificações sugeridas pelo professor, Picasso toma destaque nas respostas (figuras 21 e 22).



Nas figuras das mulhé pelada tem movimento pois é como se ilustrasse uma dança. E na figura da mulhé contorcida, pois aparenta ser a mesma mulhé de ângulos diferentes.

“Nas figuras das [mulhé] pelada tem movimento pois é como se ilustrasse uma dança. E na figura da [mulhé] contorcida, pois aparenta ser a mesma [mulhé] de ângulos diferentes. ”

1. A 4ª imagem, pois passa a ideia de confusão, tanto nas mulheres representadas assim como nas relaciona-
dades delas com o espaço

*“1. A 4ª imagem, pois passa a ideia de confusão, tanto nas mulheres representadas assim como nas [relaciona-
dades] delas com o espaço. ”*

Caixa de texto 2: Respostas obtidas após a modificação sugerida pelo professor.

1- Qual das obras apresenta maior sensação de movimento?

Do Pablo Picasso.

2- O que produz essa sensação de movimento?

A posição que ele pintou, fazendo com que a mulher esteja com os olhos em posições diferentes, tornando assim quando as pessoas passarem olhando fixamente para imagem teria uma sensação de movimento.

“1- Do Pablo Picasso. 2- A posição que ele pintou, fazendo com que a mulher esteja com os olhos em posições diferentes, tornando assim quando as pessoas [paseassem] olhando fixamente para imagem teria uma sensação de movimento.”

Caixa de texto 3: Respostas obtidas após a modificação sugerida pelo professor.

1) Qual das obras apresenta maior sensação de movimento?

Pablo Picasso

2) O que produz essa sensação de movimento?

O olhar da mulher trás sensação de movimento. Pois quando as pessoas passarem olhando fixamente para pintura iria ter a sensação de que a mulher está seguindo com os olhos.

“1-Pablo Picasso. 2 - O olhar da mulher trás sensação de movimento. Pois quando as pessoas passassem olhando fixamente para pintura iria ter a sensação de que a mulher está seguindo com os olhos.”

Caixa de texto 4: Respostas obtidas após a modificação sugerida pelo professor.

1) Qual das obras apresenta maior sensação de movimento?

A mulher com a cara torta. Porque conforme vamos andando da sensação que ela está olhando pra gente.

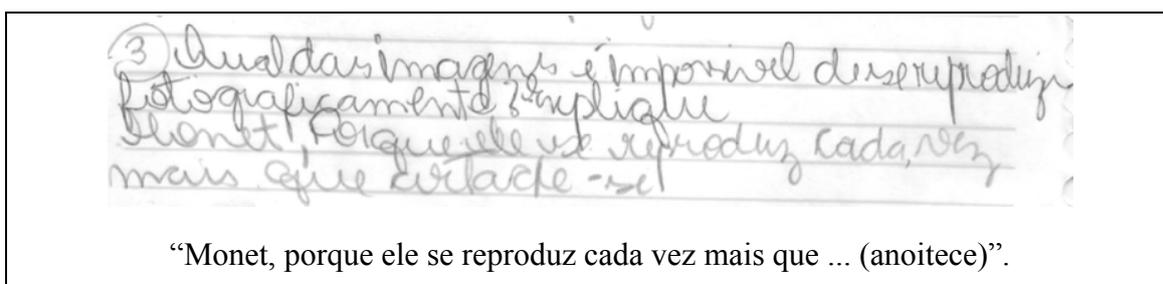
2) O que produz essa sensação de movimento?
Porque conforme estamos andando da sensação que ela está olhando pra gente.

1 - A mulher com a cara torta. 2 - Porque conforme estamos andando da sensação que ela está olhando pra gente.”

Caixa de texto 5: Respostas obtidas após a modificação sugerida pelo professor.

Podemos observar nas respostas das caixas de texto 2, 3, 4 e 5 maior aproximação com o objetivo desta etapa. Em alguns momentos, como na primeira e segunda respostas apresentadas, encontramos um esforço do aluno em relacionar a percepção de movimento com a distorção da forma. A primeira (caixa de texto 1) resposta utiliza o termo “*contorcida*”, o que sugere que ele tenha tentado caracterizar que a deformação da forma possibilitou uma melhor representação do movimento e a segunda (caixa de texto 2) utiliza o termo “*relacionidades*” na tentativa de relacionar o movimento com a ocupação de diferentes espaços.

Assim, podemos concluir que, de alguma forma, o aluno percebeu que existe uma necessidade de se modificar a maneira de representar o espaço para que, com a percepção do movimento, se estabeleça uma representação indireta do tempo. Além disso, independentemente da aproximação entre espaço e tempo desenvolvida na atividade, foi possível discutir características da representação do tempo. Durante a primeira aplicação, o destaque dado, pelos alunos, à representação da passagem do tempo caracterizada na obra de Monet introduziu um amplo debate sobre tempo linear e cíclico. Assim como uma qualificação do tempo de Monet como linear. O que pode ser constatado com a resposta a segunda pergunta “*Qual das imagens é possível de se reproduzir fotograficamente? Explique.*” (Caixa de texto 6).



Caixa de texto 6: Respostas obtidas para a segunda pergunta.

Neste caso, o termo “[*anoitecer*]” assume um caráter ordenador e linear.

Após a segunda modificação foram obtidas outras respostas que caracterizam a incapacidade de representar fotograficamente as pinturas de Picasso, um aluno chega a apontar para o problema de o espaço estar “*misturado*”.

3- Qual das imagens é impossível de se reproduzir fotograficamente? Explique.
Pablo Picasso. Porque com as formas da pintura não tem como achar coisa parecida para se fotografar. Pois é uma pintura misturada e sem preocupação com a beleza.

“Pablo Picasso. Porque com as formas de pintura não tem como achar coisa parecida para se fotografar. Pois é uma pintura misturada e sem preocupação com a beleza.”

Caixa de texto 7: Resposta dos alunos, após a segunda aplicação.

③ Qual das imagens é impossível de se reproduzir fotograficamente?
Explique.
Pablo Picasso. Porque é uma imagem que não tem como achar coisa aparecida para se fotografar.

“Pablo Picasso. Porque é uma imagem que não tem como achar coisa aparecida para se fotografar.”

Caixa de texto 8: Resposta dos alunos, após a segunda aplicação.

4.3 Análise da etapa 2.

A segunda etapa da aplicação ocorreu nas turmas C e D (que passaram a ser turmas de segundo ano) e no ano letivo de 2017.

Como as turmas foram compostas por alunos que não participaram da etapa anterior, assim como, por alunos que haviam participado há cerca de 4 meses foi necessário realizar um breve apanhado dos assuntos tratados.

A ideia original consistia no aluno trabalhar na construção do material que dá origem a animação que será observada/analísada, assim como, da folha onde é montado o diagrama espaço-tempo. No entanto, as fichas de imagens (figura 14, página 32) e a folha foram entregues já confeccionadas (figura 17, página 35).

Estas foram entregues com sua evolução temporal desordenada. A primeira etapa consistiu em solicitar ao aluno que ordenasse as fichas de imagens (figura 20) colocando as imagens em sequência de forma que fosse possível realizar a técnica do *stopmotion*.

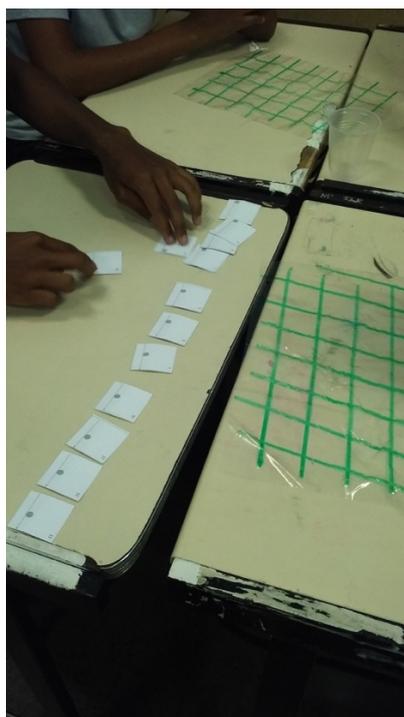


Figura 20: alunos ordenando as fichas de imagens.

Durante essa etapa o aluno foi questionado sobre o que estava observando, o que levou um dos grupos a perceber que as fichas se tratavam de *cenar*. Após essa ideia ser compartilhada com o restante do grupo, foi introduzida a pergunta: “ De que forma devemos proceder para observar a animação em movimento? ”. Quase que de imediato um grupo de alunos identificou a possibilidade de usar a técnica *stop-motion*²³.

Na sequência, os alunos montaram seus blocos de fichas (figura 14, página 14) e iniciaram o processo de animação sendo indagados sobre a forma como a transição dos quadros ocorria. Quando as fichas eram liberadas demasiadamente rápido ou demasiadamente lento, observava-se uma quebra na continuidade, ou seja, uma perda da “*lógica natural*” de transição dos eventos.

A partir dessa observação, foi possível levantar um questionamento sobre a existência de uma velocidade limite para que o evento não perca sua “*lógica natural*” de transição e introduzir uma discussão sobre a causalidade dos eventos.

A ideia simplificada de causa e efeito foi aceita facilmente pelos alunos.

²³ Este grupo de alunos afirmou possuir um interesse específico sobre assunto. E afirmou que as técnicas de animação se popularizaram entre os jovens interessados por *animes*.

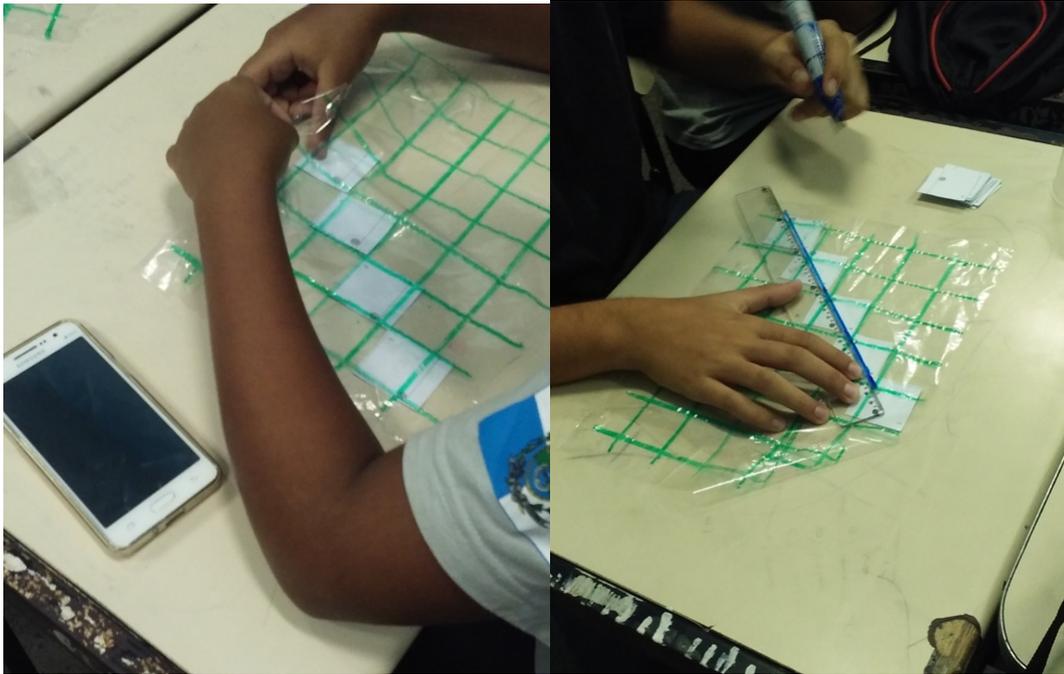


Figura 21: Construção do primeiro diagrama espaço-tempo.

A figura 21 apresenta os passos realizados pelos alunos na construção do primeiro diagrama espaço-tempo. Estes foram orientados a organizar suas fichas por baixo do papel transparente respeitando o encontro das linhas traçadas no papel. Terminada a confecção foi encaminhada uma reflexão sobre o significado da linha (linha de universo), assim como, introduzida uma comparação entre a linha confeccionada pelos alunos e o diagrama de Minkowski (aula formal sobre o tempo).

É interessante reforçar que a dinâmica relacionada a uma estrutura lúdica promoveu a motivação necessária para garantir a participação efetiva de uma quantidade significativa da turma.

4.4 Análise da etapa 3.

A terceira etapa também foi aplicada de forma simplificada (com o material necessário entregue já confeccionado ao aluno).

Continuamos os trabalhos nas mesmas turmas em que foi aplicada a segunda etapa e tomamos como ponto de partida a observação da transição das imagens.

Durante a observação foi orientada uma reflexão sobre a forma que diferentes alunos de um mesmo grupo observavam a imagem em movimento. O esperado era que o

aluno chegasse à conclusão de que todos observam o mesmo evento, ou seja, que este é único independente do observador.

Uma possibilidade interessante utilizada na discussão do referencial foi de orientar os alunos que observassem a transição das imagens em movimento (andando pela sala, aproximando-se e afastando-se de um segundo aluno que executa a animação).

Após uma breve discussão sobre o referencial, introduzimos uma segunda folha com as linhas orientadas de forma diferente da utilizada na etapa 2.

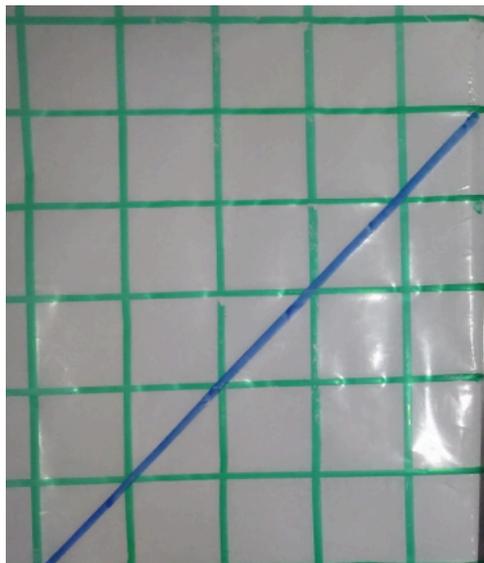


Figura 22: folha utilizada na primeira etapa.

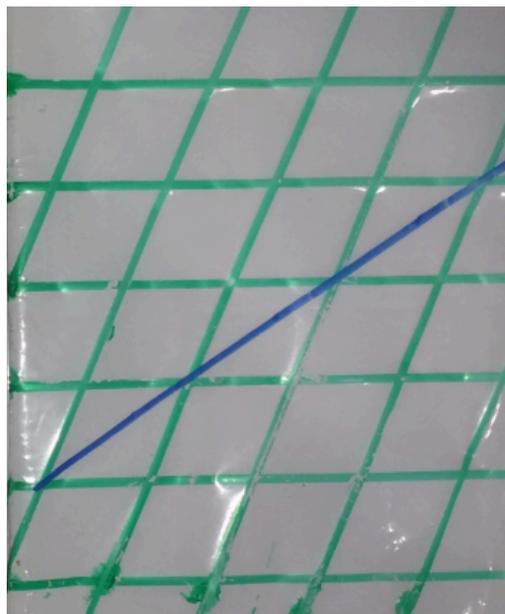


Figura 23: folha utilizada na segunda etapa.

As figuras 22 e 23 apresentam a diferenças entre as folhas que foram utilizadas na primeira e segunda etapas. Na folha utilizada na primeira etapa as linhas de fundo são perpendiculares umas em relação às outras, enquanto na segunda etapa as linhas verticais estão levemente inclinadas em relação as linhas horizontais formando um ângulo diferente de noventa graus.

A diferença entre as folhas foi associada de forma lúdica com as diferentes perspectivas de observação trabalhadas na discussão sobre o referencial.

Na sequência, foi solicitado aos alunos que reconstruíssem a linha de universo do evento observado na segunda folha e comparassem as duas linhas produzidas.

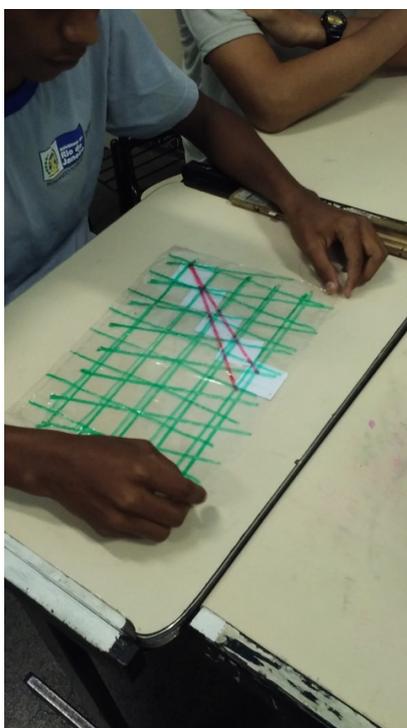


Figura 24: comparação entre as linhas de universo.

Em uma primeira observação os alunos constataram que as linhas são diferentes. Ou seja, entenderam que sobrepondo as folhas (figura 24) as linhas não coincidem. Após esta constatação, foram indagados sobre que procedimentos poderiam ser adotados para que as linhas coincidissem.

Após algumas sugestões, um grupo de alunos identificou que era necessário inclinar (executar a rotação) uma das folhas, como pode ser observado na figura 25.

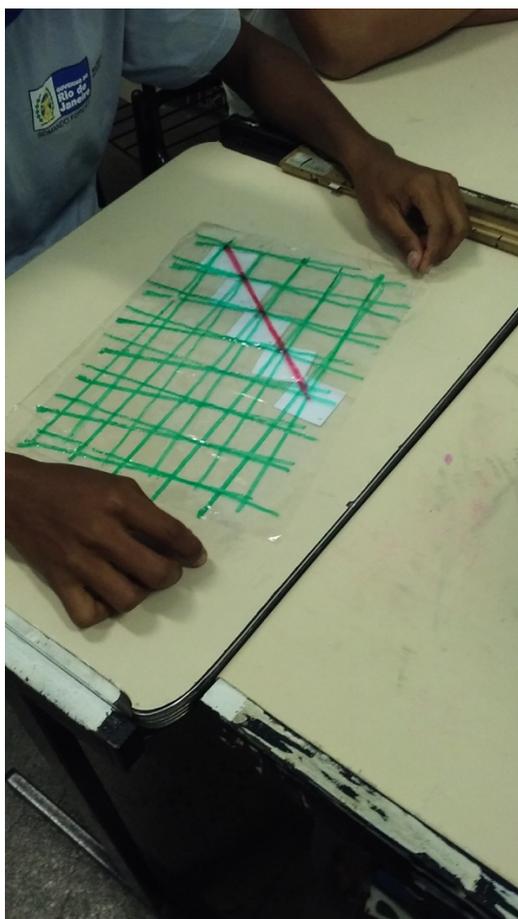


Figura 25: Comparando as linhas de universo.

A partir deste ponto, foi introduzida uma discussão sobre a razão de ter que promover a rotação da folha e, com o auxílio do lúdico, teve início um debate sobre uma possível modificação na estrutura do espaço-tempo para garantir que todos os observadores fossem capazes de ver o mesmo evento.

A exigência de certa capacidade de abstração desta última etapa e as dificuldades impostas ao processo de aplicação não contribuíram para a obtenção dos resultados esperados. Os alunos tiveram muita dificuldade de refletir sobre a modificação da estrutura do espaço-tempo e a intervenção do professor enquanto orientador ativo se tornou fundamental.

Considerações finais

Neste trabalho foram apresentados aspectos conceituais sobre as diferentes formas de estruturar os conceitos de espaço e tempo até sua estrutura moderna da Teoria da Relatividade (espaço-tempo) sem a pretensão de abordar questões específicas sobre essa teoria, mas sim, com a intenção de construir no imaginário do alunado os conceitos prévios necessários para a compressão da teoria de Einstein.

O produto foi confeccionado e aplicado em meio a muitas turbulências ocasionadas pelo contexto socioeconômico dos anos de 2015, 2016 e 2017, nos quais, em particular, a crise financeira do Estado do Rio de Janeiro influenciou diretamente.

A aplicação ocorreu de forma fragmentada e mesmo assim, apresentou resultados promissores. A fase de motivação, com a apresentação das obras de arte, cumpriu o seu papel de incentivar os alunos a participarem de forma mais comprometida com as etapas seguintes. Além disso, como observamos no capítulo 4, a própria discussão sobre a pintura, em alguns momentos, levou o aluno a se questionar sobre a relação espaço e tempo.

A segunda e terceira etapas da aplicação foram especialmente prejudicadas. Porém, as atividades propostas nestas etapas foram realizadas e os resultados foram satisfatórios na medida em que a estratégia foi capaz de despertar o interesse do aluno abrindo espaço para a discussão dos itens pretendidos. No entanto, considero que este ponto pode ser melhor explorado.

Durante todo o processo muitas modificações necessárias foram destacadas e algumas sugestões implementadas. Neste mesmo espírito, visualizamos o potencial do trabalho em promover a introdução do conceito de espaço-tempo, da simultaneidade e do limite para a velocidade da luz. Também se mostrou capaz de fomentar a discussão de aspectos da representação do tempo como sendo cíclico e linear; e de corroborar com a introdução de uma estratégia interdisciplinar e motivadora, que possa favorecer uma maior participação do aluno no processo de aprendizagem.

Apêndice A

Manual do professor com breve descrição do produto

Este apêndice apresenta de forma sucinta o produto desenvolvido nesta dissertação de mestrado. Não há a pretensão de trabalhar detalhes ligados ao referencial teórico utilizado no embasamento da estratégia de ensino construída. Este texto toma a forma de um manual de aplicação para o professor.

Os materiais utilizados ao longo deste manual podem ser confeccionados pelo professor aplicador conforme foi proposto nos apêndices B, C e D.

O produto tem a forma de uma sequência didática com três momentos de aplicação que se complementam. A aplicação sequencial é fundamental e coloca sentido no trabalho a ser desenvolvido pelo aluno. O primeiro momento, além de abordar aspectos teóricos relevantes, atua como fator motivador. O segundo momento explora a lógica matemática da construção do diagrama espaço-tempo. A última etapa aprofunda a anterior quando propõe uma mudança de referencial sobre o evento observado e, de forma lúdica, trata da observação de uma possível modificação da estrutura espaço-tempo para garantir a existência de uma única linha de universo para um determinado evento independente do observador.

Cada momento da aplicação foi planejado para ser executado em dois tempos de aula (tempos de 50 minutos) e com os alunos divididos em pequenos grupos de até 5 integrantes.

O primeiro momento consiste da apresentação dos slides apresentados no apêndice B e que podem ser obtidos junto ao texto por acesso através de link²⁴. A apresentação deve ser acompanhada pela contextualização histórica sobre o período da obra que está sendo projetada. E deve acompanhar as seguintes perguntas-chaves: 1) Quais das obras apresenta uma sensação de movimento? De que forma você justifica sua escolha? 2) De que forma você deve proceder para montar uma *releitura*²⁵ destas obras com modelos humanos e/ou objetos?

Este primeiro momento pode ser intensificado, como apresentado no capítulo 3 da dissertação. O professor aplicador pode orientar um debate sobre as ideias de tempo cíclico e linear, assim como, transcorrer sobre a forma como a representação do espaço

²⁴ https://drive.google.com/open?id=0B6Gu1k_93KooZDY1cHB2RJJGYjg

²⁵ Por releitura entende-se reproduzir a obra original utilizando-se da fotografia.

em cada pintura é capaz de fomentar a noção de movimento ou passagem do tempo. Este último aspecto abre caminho para a pergunta: Em qual das pinturas existe maior relação entre espaço e tempo?

É interessante que as respostas sejam registradas por escrito.

O segundo momento consiste da execução de uma animação utilizando a técnica *stop-motion* e da construção da linha de universo do evento observado nas fichas.

A confecção das fichas de imagens utilizadas é explicada no apêndice C. O plano de fundo utilizado no traçar da linha de universo é apresentado do apêndice D.



Figura 26: bloco formado pelas fichas de imagens.

A figura 26 apresenta o bloco de fichas de imagens.

Durante a execução da animação o professor deve introduzir questionamentos sobre a velocidade de transição das imagens a fim de direcionar um debate sobre a velocidade ideal para que o efeito da animação seja observável. Neste ponto, podem ser introduzidos questionamentos sobre a existência de uma velocidade limite e a observação de um efeito de causalidade.

Após essa etapa o professor deve orientar os alunos a construir a linha de universo do evento retratado pela animação (em *stop-motion*). Para isso, as fichas devem ser ordenadas e colocadas de baixo do plástico transparente preparado com as linhas que compõe o diagrama espaço-tempo (como apresentado nas figuras 27 e 28).



Figura 27: situação idealizada no produto.

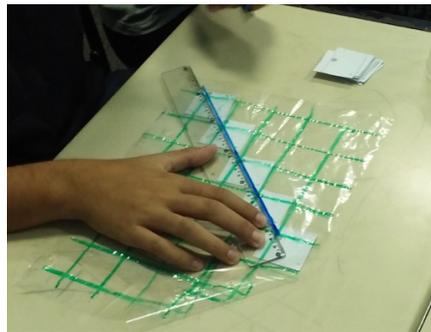


Figura 28: construção do diagrama feita por um aluno.

Com a linha de universo construída o professor deve apresentar o diagrama de Minkowski realizando um paralelo entre este e os diagramas construídos pelos alunos. Neste momento cabe a introdução de conceitos relacionados a cone de luz e a velocidade limite C , assim como, uma retomada sobre a discussão da causalidade.

No último encontro o professor aplicador deve introduzir um debate sobre a possibilidade da existência de diferentes observadores para um mesmo evento e como a posição de onde se observa deve interferir no que é observado. O professor deve apontar para a impossibilidade da existência de diferentes linhas de universo para um único evento.

Na sequência, com o papel transparente modificado (com as linhas inclinadas) o professor deve orientar os alunos a montar uma nova linha de universo para o evento observado na animação (em *stop-motion*).

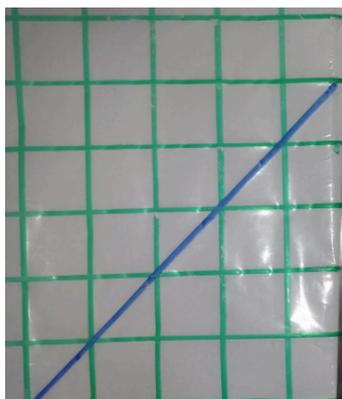


Figura 29: folha utilizada na primeira etapa.

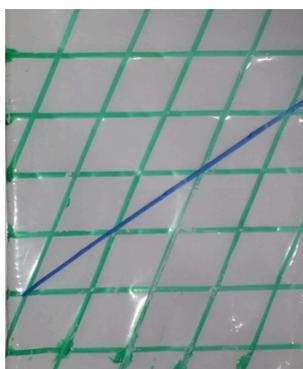


Figura 30: folha utilizada na segunda etapa.

E por simples comparação os alunos devem ser questionados se as linhas são idênticas (possuem mesma inclinação e comprimento) e de que forma se torna possível fazer com que as linhas coincidam.

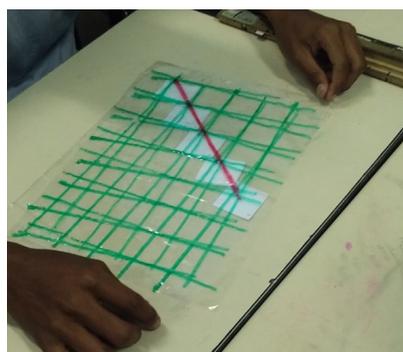


Figura 31: alunos comparando as linhas de universo.

Com a devida orientação, os alunos devem perceber que para fazer as linhas coincidirem é preciso colocar uma folha quadriculada inclinada em relação a outra e o professor deve fazer uso deste fato, para que de forma lúdica, concluir a atividade debatendo sobre a modificação da estrutura espaço-tempo formada pelas linhas de fundo

indicando que o espaço e o tempo devem se modificar em conjunto para diferentes observadores na finalidade de garantir a existência de eventos únicos.

Apêndice B

Slides

Neste anexo é apresentada a sequência de slides (versão final) utilizada com os alunos. O arquivo, na íntegra, será disponibilizado junto ao texto da dissertação.

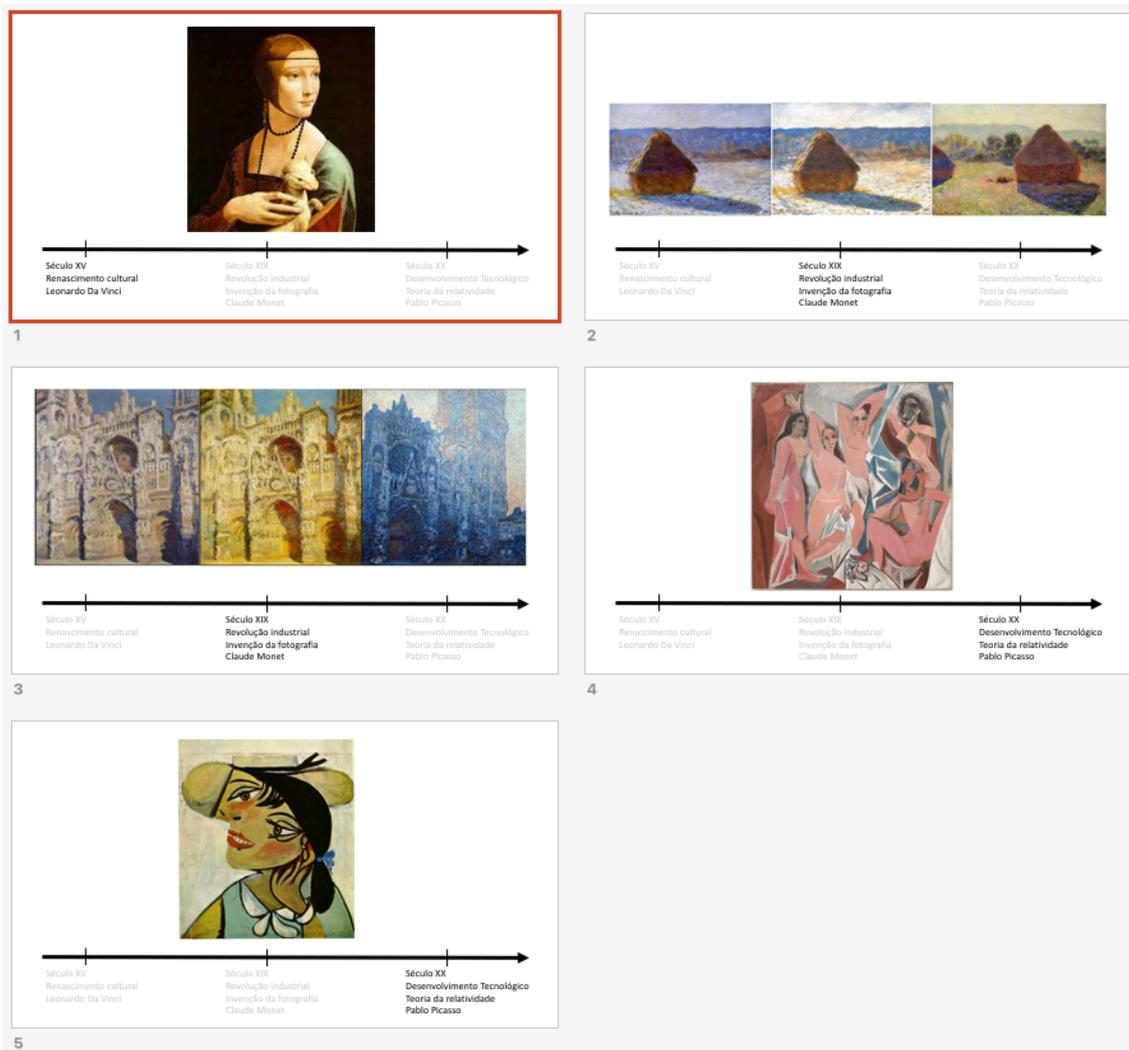


Figura 32: Slides utilizados na apresentação da primeira etapa

Apêndice C

Confeção das fichas de imagens e do diagrama espaço-tempo

No capítulo 3, foi apresentado o produto. Nas linhas abaixo apresentamos as etapas de sua confecção.

As imagens foram construídas no Microsoft Word através da inserção de uma tabela (4x4) em uma folha de tamanho A4. Para facilitar o posicionamento do objeto e seu alinhamento em cada uma das cenas, foi utilizado a opção exibir linhas de grade do editor de texto (figura 33).

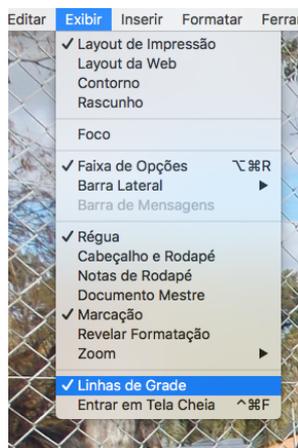


Figura 33: Acesso a opção exibir grade.

Com este recurso é possível alinhar o objeto, observando a pauta quadriculada colocada ao fundo.

Na figura 34, apresentamos a sequência de etapas utilizadas na confecção das fichas. O primeiro passo consiste em inserir uma tabela com o número de quadros que se deseja utilizar (utilizamos 16 quadros). Na sequência, inserimos a linha quadriculada de fundo (figura 33). E por fim, seguindo a orientação da grade foram inseridos uma seta e um círculo.

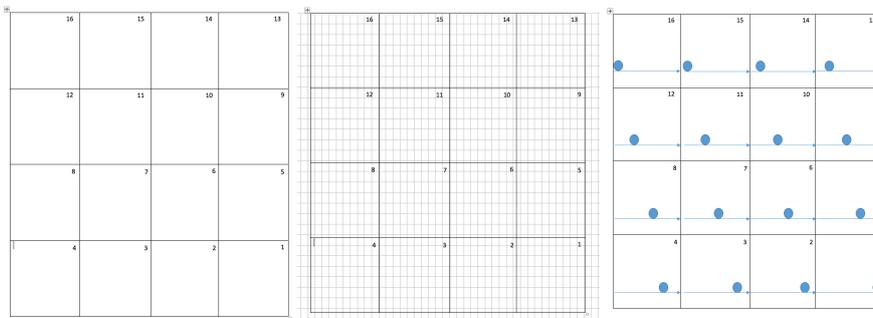


Figura 34: sequência de etapas para a confecção das fixas.

Os círculos e as setas foram copiados de quadro a quadro utilizando o recurso “copiar” e “colar”. Então, selecionada o círculo e utilizando o cursor do teclado modificamos a posição do círculo para que a cada quadro, a mesma, venha a ocupar uma posição mais a direita (neste caso, optamos por fazer o movimento da esquerda para a direita).

Após a impressão, utilizamos as linhas da tabela como guia para recortar cada quadrado e para dar rigidez às fichas foi necessário colar o papel impresso sobre uma folha de maior gramatura (se for possível, o desenho pode ser impresso sobre este tipo de folha). Para facilitar, colamos uma folha uma sobre a outra e, após a cola secar, recortamos (figura 35).



Figura 35: Material utilizado

A numeração é utilizada para facilitar o ordenamento das fichas ao aplicar a técnica do *stopmotion*.

Apêndice D

Construção dos diagramas espaço-tempo

O diagrama espaço-tempo (figuras 29 e 30, páginas 52 e 53) foi confeccionado utilizando caneta de quadro branco e uma régua. Na figura 29, as linhas verticais e horizontais formam um ângulo reto. Na figura 30, foi feita uma leve inclinação entre as linhas girando aquelas, que antes eram verticais, a fim de formar um ângulo de cerca de sessenta graus com as linhas horizontais.

Referências Bibliográficas

[ANDRADE, 2007] ANDRADE, R. R. D. de; NASCIMENTO, R. de S.; GERMANO; M. G.; Influência da Física Moderna na obra de Salvador Dalí; Cad. Bras. Ens. Fís., V. 24, n. 3, p. 400-423, dez. 2007.

[ARAGÃO, 2011] ARAGÃO, M. H. de M. & ARAGÃO, J. F. de M.; Evolução social do conceito de tempo; V Colóquio internacional “Educação e contemporaneidade”; São Cristóvão – SE; Brasil.

[ASSIS, 1998] ASSIS, A. K. T.; Mecânica Relacional, Campinas: UNICAMP, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, (Coleção CLE; v. 22).

[BACHELARD, 1978] BACHELARD, G.; A filosofia do não (Os pensadores). Tradução. J. J. M. Ramos. São Paulo: Abril Cultural

[BARBOSA, GUEIROZ e SANTIAGO, 2007] BARBOSA, M. C. L.; QUEIROZ, G.; SANTIAGO, R.; Ciência e artes: Vernner, Huygens e Leeuwenhoek; Física na Escola, V. 8, N. 2.

[BATISTA, 2015] BATISTA, N. L., LORENSI D. C. T., BECKER, K. L. e BECKER, E. L. S., *Disciplinarum Scientia*. Série: Ciências Humanas, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 189-201, 2015. Sobre o tempo: o surreal e o real.

[BRASIL, 2002] Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+), Ensino Médio, Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. MEC. Brasil.

[BRASIL, 2015] BRASIL, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação; Ensino a Distância, Cosmologia da origem ao fim do universo; módulo 05; Observatório Nacional.

[BZUNECK, mar/2017] BZUNECK, J. A.; Motivar seus alunos: sempre um desafio possível. Disponível em: <<http://www.unopar.br/2jepe/motivacao.pdf>> ; Acessado em 01 mar 2017.

[CASARI, 2014] CASARI, C.; A influência da motivação no processo de ensino; Programa de Aperfeiçoamento Profissional – USP, Ribeirão Preto.

[GHISOLFI, 2008] GHISOLFI, E. S.; Sobre a evolução histórica do conceito de tempo e uma investigação do seu significado entre estudantes de diferentes níveis de escolaridades; Monografia – Curso de licenciatura em Física, PUC–RS (Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul); Porto Alegre.

[GOMES, DI GIORGI e RABONI, 2011] GOMES, T. C.; DI GIORGI, C. A. G. e RABONI, P. C. de A.; Física e pintura: dimensões de uma relação e suas potencialidades no ensino de física; Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 32, n. 4, 4402.

[GUERRA *et al*, 2007] GUERRA A.; BRAGA, M. A.; REIS, J. C. Teoria da Relatividade restrita e Geral no programa de mecânica do Ensino Médio: uma possível abordagem. In: Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 575-583, dez. 2007.

[KARAM *et al*, 2006] KARAM R., CRUZ, S., COIMBRA, D.; Tempo relativístico no início do Ensino Médio. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 3, 2006.

[LAGO, 2013] Lago, L. G.: Lua: fases e facetas de um conceito. 2013. Dissertação (mestrado) - Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

[NUSSENZVEIG, 2002] NUSSENZVEIG, H. M.; Curso de Física Básica – Mecânica - Vol. 1 - 1ª Ed.; Edgard Blücher; São Paulo.

[NUSSENZVEIG, 1998] NUSSENZVEIG, H. M.; Curso de Física Básica – Óptica, Relatividade e Física quântica - Vol. 4 - 1ª Ed.; Edgard Blücher; São Paulo.

[NEWTON *apud* ASSIS (1998)] Newton, I.; Principia — Princípios Matemáticos de Filosofia Natural, volume 1; Nova Stella/Edusp, São Paulo. Tradução de T. Ricci, L. G. Brunet, S. T. Gehring e M. H. C. Célia.

[PORTO, 2009] PORTO, C.M, A Física de Aristóteles: Uma construção Ingênuas?; Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 4, 4601.

[PIRES, 2008] PIRES, A. S. T.; Evolução das ideias Físicas; São Paulo; Editora Livraria da Física.

[OSTERMANN e MOREIRA, 2000] OSTERMANN, F. e MOREIRA, M. A. Uma Revisão Bibliográfica sobre a Área de pesquisa Física Moderna e contemporânea no Ensino Médio; Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, 2000.

[SEEDUC, 2012] Secretaria de Educação do Estado do Rio de Janeiro – SEEDUC, *Currículo Mínimo*, 2012, acessado em 2 de abril 2016 no endereço eletrônico http://download.rj.gov.br/documentos/10112/2012465/DLFE-68119.zip/cm_10_5__0.zip

[REIS *et al*, 2006] REIS J. C.; GUERRA, A.; BRAGA, M.: Ciência e Arte: relações improváveis?, História, Ciência, Saúde – Manguinhos, v. 13 (suplemento), p.71-87 outubro 2006.

[SANTOS, 2006], SANTOS R.; Relatividade Restrita com o auxílio de diagramas; Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.23, n.2,

[SOUZA, 2011] SOUZA, P.H.; ZANETIC, J. & SANTOS M. E., Conceito de espaço no ensino de física: construindo categorias de análise a luz da epistemologia de Bachelard; Trabalho apresentado no VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC) realizado na universidade estadual de campinas.

[RAMOS e FERREIRA, 1998] RAMOS, E. M. F. & FERREIRA, N. C.; *Brinquedos e jogos no ensino de Física*. In: Roberto Nardi (org.) Pesquisa em ensino de Física. Escrituras Editora. São Paulo, p. 127 – 138.

[REIS, 2016] REIS, J. L. dos; Uma proposta didática para o ensino de relatividade restrita através do Cubismo no Ensino Médio: Aproximação de duas culturas; Trabalho de

conclusão de curso de Licenciatura em Física; Universidade Estadual de Feira de Santana – BA.

[REIS *et al*, 2005] REIS, J. C.; GUERRA, A.; BRAGA, M.; Física e Arte: A construção do mundo com tintas, palavras e equações. *Ciência e Cultura*, Vol.57, N.3, São Paulo, Julho/setembro de 2005.

[ZEICHNER, 2003] ZEICHNER, K. M. 2003; Formando professores reflexivos para a educação centrada no aluno: possibilidades e contradições. In: BARBOSA, Raquel L. L. (org.) *Formação de Professores: desafios e perspectivas*. São Paulo: Editora UNESP, p. 35-55.