

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DO NOROESTE FLUMINENSE DE EDUCAÇÃO SUPERIOR
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

DENYS PARREIRA DA SILVA

**SOBRE A RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO:
UMA POSSÍVEL ABORDAGEM**

Santo Antônio de Pádua
2016

DENYS PARREIRA DA SILVA

RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO: UMA POSSÍVEL ABORDAGEM

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Licenciatura em Física, como requisito parcial para conclusão do curso.

Orientador

Prof. Dr. Tibério Borges Vale

Santo Antônio de Pádua
2016

DENYS PARREIRA DA SILVA

RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO: UMA POSSÍVEL ABORDAGEM

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Licenciatura em Física, como requisito parcial para conclusão do curso.

Aprovado em 01 de abril de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Tibério Borges Vale (Orientador) - UFF

Prof^a. Dr^a. Maria Danielle Rodrigues Marques - UFF

Prof^a. Dr^a. Erica Cristina Nogueira - UFF

Santo Antônio de Pádua
2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares pelo apoio em todos os momentos.

Aos meus amigos do curso pelo companheirismo e descontração nos longos anos de estudo.

Aos Professores do Curso com os quais aprendi dentro e fora da sala de aula.

Ao meu orientador e amigo Professor Tibério, pela sua orientação e apoio que tornaram possível a conclusão deste trabalho. E especialmente, pela sua paciência infinita e sábios conselhos.

A Professora Danielle e ao Professor Marciano, pelas produtivas horas de conversa, e por todo apoio e incentivo.

A todos os funcionários da UFF que me apoiaram e contribuíram na conclusão dos meus estudos.

Don't Stop Believin

Journey

RESUMO

Este trabalho possui como principal objetivo propor uma possível abordagem para o ensino de Física no Ensino Médio. Para tanto apresentamos inicialmente alguns desafios a serem superados pela pesquisa no ensino de Física. Apoiamos este trabalho nas competências e habilidades sugeridas pelos PCNs e em aspectos de algumas teorias de aprendizagem. Procuramos também desenvolver em nossos alunos o senso crítico que o estudo da ciência nos oferece, e apresentar esta como uma construção humana que visa compreender e descrever a natureza. E que possam compreender o pensamento científico como algo mutável e fruto do trabalho e colaboração de muito cientistas. Em nossas aulas buscamos investigar primeiramente o tipo de pensamento que predomina em nossos alunos, um pensamento aristotélico ou galileano a respeito do movimento. Também utilizamos de Questionários avaliativos afim de investigar o conhecimento prévio dos alunos, seus interesses em aprender o novo conteúdo, o conhecimento adquirido com o curso e suas opiniões sobre o mesmo. O desenvolvimento das atividades propostas se deu de forma harmônica, de modo a privilegiar a interação com o aluno. O uso das Teorias de aprendizagem nos possibilitou uma visão mais ampla dos processos que estavam ocorrendo em sala de aula e acreditamos que o conhecimento e articulação destas teorias em conjunto nos forneceu uma ferramenta a mais para o fim que objetivamos. Por fim, como base nos dados coletados através dos questionários e por observações em sala de aula acreditamos ter concluído os objetivos propostos neste trabalho.

Palavras-chave: Ensino de Física. Ensino de Relatividade. Relatividade no Ensino Médio.

ABSTRACT

The main objective of this work is to propose a possible approach for teaching the Theory of Relativity in highschool. Therefore, initially we present some challenges to be overcome by physics teaching research. We support this work on skills and abilities suggested by Brazilian PCNs and on aspects of a few learning theories, like the theories of David Ausubel and Vygotsky. We also seek to develop in our students the critical thinking which is reached in the science study, and to present the science as a human construct that seeks to understand and describe nature. We intend the students can understand the scientific thought as something mutable, fruit of the work and collaboration of numerous scientists. In our classes we seek first to investigate the kind of thinking that prevails in our students: an Aristotelian or Galileo thought about the move. So we use evaluation questionnaires in order to assess the students' prior knowledge, their interests in learning new content of Theory of Relativity, the knowledge gained from the course and their opinions about it. The development of the proposed activities took place smoothly, so as to favor the interaction with the student. The use of learning theories allowed us a broader view of the processes that were taking place in the classroom and we believe that knowledge and articulation of these theories together provided us an additional tool to reach that goal. Finally, we present the data collected through questionnaires and the observations in the classroom, followed by analysis, through which we believe we have completed the objectives proposed in this work.

Keywords: Physics Teaching. Relativity teaching. Relativity in High School.

Índice

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 14 |
| 3. OBJETIVOS..... | 19 |
| 4. METODOLOGIA..... | 20 |
| 4.1 AULA 1..... | 21 |
| 4.1.1 A interface entre Aristóteles e Galileu..... | 21 |
| 4.1.2 A necessidade de se medir o Espaço..... | 21 |
| 4.1.3 A necessidade de se medir Tempo..... | 22 |
| 4.1.4 O conceito de referencial..... | 23 |
| 4.1.5 Relatividade Galileana..... | 23 |
| 4.1.5.1 Velocidade Relativa..... | 23 |
| 4.1.5.2 Medindo a velocidade da Luz..... | 25 |
| 4.1.6 Os Mapas Conceituais..... | 26 |
| 4.2 AULA 2..... | 26 |
| 4.3 AULA 3..... | 29 |
| 4.4 AULA 4..... | 32 |
| 5. RESULTADOS..... | 34 |
| 5.1 PRIMEIRA AVALIAÇÃO..... | 34 |
| 5.2 SEGUNDA AVALIAÇÃO..... | 39 |
| 5.3 TERCEIRA AVALIAÇÃO..... | 47 |
| 5.4 MAPAS CONCEITUAIS..... | 55 |
| 6. ANÁLISE..... | 58 |
| 6.1 ANÁLISE DAS ATIVIDADES EM SALA DE AULA..... | 58 |
| 6.2 ANÁLISE DOS QUESTIONÁRIOS E MAPAS CONCEITUAIS..... | 60 |
| 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 68 |
| 8. REFERÊNCIAS..... | 70 |

Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1: Mapa conceitual sobre M.U. Traçado com o auxílio do Cmap Tools..... | 18 |
| Figura 2: Trole Ferroviário representando uma onda eletromagnética..... | 29 |
| Figura 3-a: Velocidade de um pulso luminoso (a)..... | 30 |
| Figura 3-b: Velocidade de um pulso luminoso (b)..... | 30 |
| Figura 4: O fator de Lorentz..... | 32 |
| Figura 5: Limite de velocidade para um corpo, Bertozzi (1964)..... | 33 |
| Figura 6-1: Questão 1: Distribuição de alunos por alternativa..... | 37 |
| Figura 6-2: Questão 1: Distribuição percentual de respostas..... | 37 |
| Figura 7-1: Questão 2: Distribuição de alunos por alternativa..... | 38 |
| Figura 7-2: Questão 2: Distribuição percentual de respostas..... | 39 |
| Figura 8-1: Distribuição percentual de respostas da questão 1, questionário 1..... | 41 |
| Figura 8-2: Distribuição percentual de respostas na questão 2, questionário 1..... | 41 |
| Figura 8-3: Distribuição percentual de respostas na questão 3, questionário 1..... | 42 |
| Figura 8-4: Distribuição percentual de respostas na questão 4, questionário 1..... | 42 |
| Figura 8-5: Distribuição percentual de respostas na questão 5, questionário 1..... | 43 |
| Figura 8-6: Distribuição percentual de respostas na questão 6, questionário 1..... | 43 |
| Figura 8-7: Distribuição percentual de respostas na questão 7, questionário 1..... | 44 |
| Figura 8-8: Distribuição percentual de respostas na questão 8, questionário 1..... | 44 |
| Figura 8-9: Distribuição percentual de respostas na questão 9, questionário 1..... | 45 |
| Figura 8-10: Distribuição percentual de respostas na questão 10, questionário 1..... | 46 |
| Figura 9-1: Distribuição percentual de respostas na questão 1, questionário 2..... | 48 |
| Figura 9-2: Distribuição percentual de respostas na questão 2, questionário 2..... | 49 |
| Figura 9-3: Distribuição percentual de respostas na questão 3, questionário 2..... | 49 |
| Figura 9-4: Distribuição percentual de respostas na questão 4, questionário 2..... | 50 |
| Figura 9-5: Distribuição percentual de respostas na questão 5, questionário 2..... | 51 |
| Figura 9-6: Distribuição percentual de respostas na questão 6, questionário 2..... | 51 |
| Figura 9-7: Distribuição percentual de respostas na questão 7, questionário 2..... | 52 |
| Figura 9-8: Distribuição percentual de respostas na questão 8, questionário 2..... | 52 |
| Figura 9-9: Distribuição percentual de respostas na questão 9, questionário 2..... | 53 |
| Figura 9-10: Distribuição percentual de respostas na questão 10, questionário 2..... | 53 |

| | |
|--|----|
| Figura 9-11: Distribuição percentual de respostas na questão 11, questionário 2..... | 54 |
| Figura 9-12: Distribuição percentual de respostas na questão 12, questionário 2..... | 54 |
| Figura 10-1: Mapa conceitual do grupo 1..... | 55 |
| Figura 10-2: Mapa conceitual do grupo 2..... | 56 |
| Figura 10-3: Mapa conceitual do grupo 3..... | 56 |
| Figura 10-4: Mapa conceitual do grupo 4..... | 57 |

1. INTRODUÇÃO

É notável que os avanços nos estudos científicos trazem reflexos para a sociedade. Seja através de sua aplicação direta, em novas tecnologias e medicamentos, ou mesmo indiretamente, servindo de base para outros estudos, o conhecimento científico, muita das vezes acaba por gerar uma série de especulações que são rapidamente disseminadas pela Internet. Claramente este é o efeito de um mundo globalizado, onde em tese a informação está ao acesso de todos. Entretanto é crucial o cuidado com as informações recebidas, pois a desinformação também se propaga no mesmo ritmo. Neste contexto, a popularização e divulgação da ciência toma um papel fundamental para a sociedade.

A Física é uma das áreas da ciência que frequentemente povoa o imaginário das pessoas, seja através de filmes de ficção científica ou mesmo através de documentários científicos. Mesmo que por breves instantes, os espectadores sentem-se compelidos a pensar sobre o conceito Físico envolvido na situação, o que demonstra que em geral as pessoas sentem-se atraídas pelo conhecimento científico. Carl Sagan [1] discutiu o fato de que toda criança nasce cientista, e que desperta curiosidades e admiração pelo desconhecido, mas que os adultos aos poucos vão “minando” todo o entusiasmo, fazendo crescer um perigoso desinteresse pela ciência que muitos carregarão pelo resto da vida.

A grande responsável em difundir o conhecimento de Física é a escola. Na escola são transmitidos os conhecimentos considerados essenciais para que o aluno como cidadão consciente possa intervir na sociedade de forma crítica, contribuindo para manutenção e evolução da mesma. Muitos pesquisadores [2, 3, 4] defendem a ideia de que a inserção de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio possa vir a contribuir potencialmente para a participação dos indivíduos em diversos segmentos da sociedade, uma vez que o ensino de FMC é capaz de promover a compreensão de diversos dispositivos científicos e tecnológicos, como por exemplo: O funcionamento do sistema de posicionamento global (GPS), do laser, do raio x, do micro-ondas entre outros. Além disso, o ensino de FMC é capaz de satisfazer todo um emaranhado de dúvidas e questionamentos, que permeiam a cabeça de nossos alunos, o que pode dar margens para possíveis esoterismos. Terrazzan [5] alerta para o fato de que a Física desenvolvida no Ensino Médio deve permitir ao aluno pensar e interpretar o mundo e seu cotidiano, formando um cidadão pronto para participação na sociedade.

Esta inserção de FMC no ensino médio tem sido tema de grandes discussões entre os profissionais do Ensino de Física. A grande preocupação didática em sua abordagem divide opiniões e faz emergir grandes ideias que apresentam excelentes possíveis abordagens para o ensino de FMC no Ensino Médio [6].

Um aspecto positivo a respeito da inserção de FMC no ensino médio é que os livros didáticos estão se adaptando as propostas curriculares sugeridas pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's) [7], entre elas, os tópicos de FMC.

Os PCN's inauguram a reformulação do sistema educacional de nível básico, atendendo as gritantes necessidades de mudança. A partir das diretrizes apresentadas pelo PCN+ de Física, o ensino de Física no nível médio teoricamente deixa de ser apenas o preparatório para os cursos superiores ou profissionalizantes, e passa a ter uma preocupação maior: A “[...] 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” (PCN+, 2002, p.59). Estas são prioridades que devem integrar o planejamento de todo professor, o qual deve elaborar estratégias para colocar as competências e habilidades propostas pelo PCN em prática.

Apesar dos PCN's terem estabelecido a proposta de uma base curricular comum para todos os estados brasileiros, visando padronizar o ensino no país, ele se constitui apenas de um referencial para elaboração do currículo escolar. Portanto são orientações voltadas as secretarias estaduais de educação, as escolas e principalmente aos professores, os quais devem estar cientes e comprometidos com a nova proposta de se ensinar física. Visando atender as demandas da Lei de Diretrizes e Bases [8], e dos PCNs, cada estado elabora seu currículo, com suas prioridades e suas sequências de conteúdo.

É notável que o ensino de Física causa grandes preocupações nos pensadores da área [9,10], a resistência que muitos alunos adquirem no estudo desta disciplina acaba criando um bloqueio no aprendizado, e os alunos acabam não compreendendo a verdadeira essência por trás de cada estudo que a Física propõem. Este bloqueio muitas vezes se deve a forma como o professor conduz a aula, o “formulismo” exagerado, ou seja, a grande memorização de fórmulas que muitos professores exigem, torna a disciplina desestimulante aos olhos dos alunos. Por outro lado, não devemos abrir mão da matemática, pois esta se mostra como a linguagem natural da Física. Então devemos nos perguntar: Que tipo de cidadão queremos formar? O ensino Médio não forma nenhum especialista em Física, e muitos dos alunos nunca mais terão que trabalhar com

física, o que nos remete a conhecidas perguntas sobre: O que ensinar? Porque e para que ensinar? Estas questões já foram levantadas e discutidas por Delizoicov [11] e outros. Ao fim deste trabalho esperamos dar mais respostas a estas perguntas.

Neste trabalho abordamos um tema de FMC que sabidamente causa interesse nos alunos, a Teoria da Relatividade de Albert Einstein. Historicamente temos duas Concepções da Teoria da Relatividade, a de 1905 conhecida hoje com “Teoria da Relatividade Restrita” (TRR) (ou especial), e a de 1915, conhecida como “Teoria da Relatividade geral” (TRG). No Apêndice A apresentamos uma breve revisão histórica sobre ambas as Teorias.

Nortearmos nosso planejamento didático com base no currículo mínimo proposto pela Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro [12], o qual avaliamos estar em concordância com as sugestões dos PCNs, e com a base do que acreditamos ser um bom Ensino de Física. Assim, muitos de nossos objetivos vão de encontro com as Habilidades e Competências propostas pelo currículo mínimo. O currículo mínimo insere os estudos de Relatividade no 3º Bimestre da 1ª Série do Ensino Médio, o que não representa nenhum obstáculo, uma vez que os alunos já adquiriram o conhecimento prévio de cinemática e dinâmica, além de já possuírem um bom “algebrismo” matemático.

Contamos neste trabalho com um apoio teórico construtivista, pois adequa-se melhor a nossa proposta. Assim utilizaremos o Sócio-Interacionismo de Lev Vygotsky, e alguns conceitos da Teoria de Jean Piaget associados a Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Faremos também uma abordagem aos Mapas Conceituais de Joseph Novak.

Os Capítulos seguintes deste trabalho estão dispostos da seguinte forma: No Capítulo 2 abordaremos a Fundamentação Teórica, destacando os aspectos que incorporamos das Teorias de Aprendizagem que norteiam nosso planejamento didático. No Capítulo 3 descreveremos nossos objetivos gerais e específicos. No Capítulo 4 discutiremos sobre nossa Metodologia. No Capítulo 5 faremos a análise dos resultados obtidos com a aplicação dos métodos propostos no Capítulo 4. No Capítulo 6 iremos expor nossas considerações finais a respeito do trabalho, analisando se os objetivos propostos foram alcançados, e as potencialidades e perspectivas derivadas deste trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os desafios encontrados em sala de aula fazem parte da rotina do professor. O professor pesquisador sempre irá refletir sobre sua prática de ensino afim encontrar os melhores métodos para se trabalhar, aqueles métodos que se aplicados irão conseguir desenvolver o potencial dos alunos, como destaca Libâneo [13]. Porém partindo de uma perspectiva individual, cada aluno é único, possui valores e experiências que compõem sua estrutura cognitiva, o que nos indica que não podemos definir um método em especial, mas uma variedade deles.

Optaremos neste trabalho por uma abordagem cognitivista [14], que se opõe ao modelo comportamentalista que centra sua atenção no comportamento humano, desconsiderando aspectos internos que ocorrem na mente. A cognição se propõe a analisar os aspectos internos (mentais) que intervém no processo “Estímulo/Resposta”. É por meio da cognição que se dá a origem dos significados, sendo estes mutáveis, servindo de ancoragem para outras significações que originam a estrutura cognitiva e se constituem pontes para a aquisição de novos significados. Segundo Moreira [15] “[...] A psicologia cognitiva preocupa-se com o processo de compreensão, transformação, armazenamento e utilização das informações, envolvidas no plano da cognição”.

Acreditamos que não há um método único para o ensino, e cada teoria de aprendizagem possui aspectos que podem ser incorporados a aspectos de outras teorias. Acreditamos que quanto mais explorada nossa capacidade de lidarmos e agruparmos diferentes teorias, maiores serão nossas chances de sucesso. Para tal, nos apoiaremos em aspectos das teorias construtivistas de Jean Piaget, Lev Vygotsky, David Ausubel e Joseph Novak, pois nos fornecem todo um arcabouço teórico e metodológico que possibilita a articulação das competências e habilidades sugeridas pelos PCN's com o conteúdo científico a se trabalhar, tornando a metodologia e o conteúdo indissociáveis, cabendo ao professor possuir os dois tipos de conhecimento e articulá-los em harmonia, satisfazendo assim as necessidades encontradas em sala de aula.

A teoria de Piaget [16, 17, 18] não é originalmente uma teoria de aprendizagem, mas sim de desenvolvimento cognitivo. Classificada como construtivista pela maioria dos autores, sua teoria é baseada no conceito fundamental de “Equilibração”, processo no qual as estruturas mudam de um estado a outro. O desenvolvimento cognitivo ocorre por “Assimilação” e “Acomodação”, em que para abordar a realidade o indivíduo

constrói esquemas mentais de assimilação. Para Moreira [19] trata-se da teoria pioneira do enfoque construtivista à cognição humana.

Para Ostermann [20] “Na abordagem piagetiana, ensinar significa provocar o desequilíbrio na mente da criança para que ela, procurando o reequilíbrio, se reestruture cognitivamente e aprenda”.

Embora o processo de desenvolvimento intelectual seja contínuo, seus resultados não são. São qualitativamente diferentes de tempos em tempos, então Piaget distingue quatro estágios gerais do desenvolvimento cognitivo: sensório-motor, pré-operacional, operacional-concreto e operacional-formal. Uma análise de todos estes estágios fugiria do escopo ao qual nós nos propomos neste trabalho, nosso interesse está no último estágio, o da adolescência, em que se encontram nossos alunos do Ensino Médio.

O estágio das operações formais compreende a faixa etária dos 11 aos 15 anos e se caracteriza pela capacidade do indivíduo de formular hipóteses e tirar conclusões destas hipóteses sem a necessidade de uma observação real. O indivíduo é capaz de realizar raciocínios elaborados através de hipóteses levantadas por ele mesmo ou por outro indivíduo. O indivíduo consegue expor suas ideias através da linguagem verbal ou modelos matemáticos. Este estágio também se caracteriza pela ampla socialização e onde o questionamento é o foco principal, sendo um ótimo período para inserção de novos conceitos. Portanto nesta faixa etária a introdução da Teoria da Relatividade é vista com bons olhos, pois tal teoria prioriza imagens e pensamentos mentais, e se vale quase sempre do pensamento abstrato.

As ideias de que a criança desenvolve espontaneamente noções sobre o mundo físico, ou de ensino reversível, em que o professor deve introduzir passos intermediários de um tópico que requer grande desequilíbrio para assimilação, são muito úteis no ensino de Física.

Enquanto Piaget diz que é principalmente através de suas ações com ambiente que as crianças dão sentido as coisas, Vygotsky vem destacar o valor do contexto social e da cultura no processo de aprendizagem. Segundo Vygotsky [21], o indivíduo possui papel ativo em seu processo de aprendizagem, mas que não atua sozinho, sendo sua interação com um outro ser social fundamental, pois dela emergem signos e instrumentos que são interiorizados, construindo o desenvolvimento humano.

Não é através do desenvolvimento cognitivo que o indivíduo torna-se capaz de socializar, é através da socialização que se dá o desenvolvimento dos processos mentais superiores (Linguagem e Pensamento) [22]. Nesta Perspectiva o desenvolvimento

cognitivo é a conversão de relações sociais em funções mentais, e esta internalização ocorre por meio de mediação, no qual a linguagem possui papel fundamental.

Tendo estabelecido as bases da teoria de Vygotsky apresentaremos um conceito muito importante proposto por ele, o de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), a qual fazemos constante uso em nosso trabalho. Trata-se do desnível intelectual (distância) entre o nível de desenvolvimento cognitivo real do indivíduo, ou seja, aquilo que já foi assimilado, e portanto, ele é capaz de fazer sozinho, e o nível de desenvolvimento potencial, aquilo que o indivíduo pode aprender com a ajuda de uma pessoa. Assim a ZDP representa a região no qual o desenvolvimento cognitivo ocorre, e por característica é dinâmica, mudando constantemente.

As aulas de Física podem nos fornecem um grande espaço de aprendizagem, como a descrita por Vygotsky.

David Ausubel propõe a Teoria da Aprendizagem Significativa [23], uma teoria essencialmente de ensino e aprendizagem. Do ponto de vista de imediata aplicação, a Teoria de Ausubel possui boa consistência lógica e pode ser considerada praticamente completa.

A Aprendizagem significativa é um processo no qual uma nova informação se relaciona com um aspecto relevante da estrutura cognitiva do indivíduo. Esta relação deve se dar de forma não-arbitrária, ou seja, a nova informação deve possuir significado (estar relacionada) para uma estrutura de conhecimento específica a qual Ausubel chama de “*Subsunçor*”, existente previamente na estrutura cognitiva do indivíduo [24]. Esta relação deve também ser substantiva, ou seja, o que a estrutura cognitiva incorpora é a nova informação ou ideia em si, não as palavras ou signos usados para expressá-la. Esta é a essência da Aprendizagem Significativa.

O conceito de *subsunçor* se refere a uma ideia ou conceito já existente na estrutura cognitiva, de modo que a nova informação se ancore, ou seja, o indivíduo já possui algum conhecimento prévio que irá se relacionar com o novo conhecimento, de modo que o indivíduo agregue significado a este novo conhecimento, e assim o conhecimento prévio se modifica pela aquisição de novos conhecimentos.

Segundo Ausubel, o processo de Aprendizagem Significativa é o mais importante na aprendizagem escolar. Para Moreira e Ostermann [25] “Se tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um só princípio, diria o seguinte: o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe”.

Uma abordagem da teoria de Ausubel no ensino de Física exige que o professor tenha atenção a alguns passos, como estruturar o conteúdo a ser apresentado de forma hierárquica, analisar quais os *subsunçores* necessários para a aquisição do novo conhecimento, verificar se os alunos possuem estes *subsunçores*, e apresentar o conteúdo de forma clara e que possibilite a ativação dos *subsunçores* necessários à assimilação do aluno, e organização de sua estrutura cognitiva, através da aquisição de significados claros e relevantes ao aprendiz.

Assim, buscando promover uma aprendizagem significativa, usaremos os mapas conceituais, técnica desenvolvida por Joseph Novak [26], e cuja fundamentação teórica está na Teoria de Aprendizagem de Ausubel.

Os mapas conceituais são basicamente diagramas que envolvem conceitos de um certo tema, e podem ser traçados com base em uma aula, um conteúdo, ou todo um curso, o que irá variar é o grau de generalidade e a inclusividade dos conceitos relacionados. Estes conceitos geralmente são colocados em figuras geométricas como: elipses, retângulos e círculos. E são ligados por linhas ou setas. Na elaboração de mapas conceituais não há a necessidade de hierarquização de conceitos pois não implicam necessariamente em sequencias ou temporalidade, portanto não devem ser confundidos com Fluxogramas, mapas mentais ou organogramas. O que não significa que possa ser algo caótico, sendo sempre importante que fique claro quais conceitos são contextualmente mais importantes e quais são os secundários. Na Figura 1 temos o modelo de um mapa conceitual simples sobre movimento uniforme (M.U.) traçado com o Software Cmap Tools. Neste Mapa Conceitual usamos os balões para indicar os conceitos, cores mais escuras para indicar abrangência, nomes entre os balões para indicar a ligação mais clara entre os conceitos, linhas direcionadas para indicar implicância e linhas simples para indicar relação mútua. O fato importante de dois conceitos estarem ligados por linhas é que aos olhos de quem construiu o mapa existe uma relação de significados entre estes conceitos, sendo assim quem o externou deve ser capaz de explicar quais relações existem entre os conceitos. Segundo Moreira [27], este é o maior valor de um mapa conceitual.

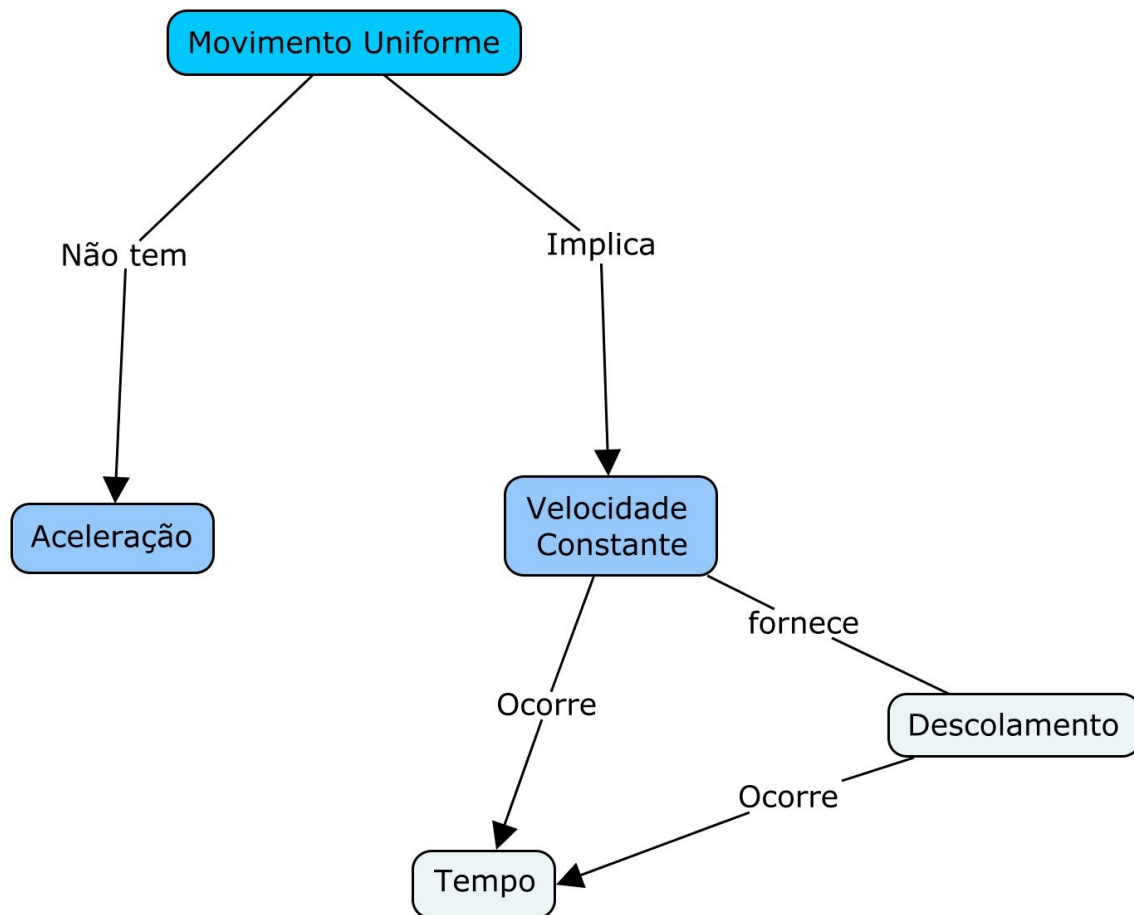


Figura 1: Mapa conceitual sobre M.U. Traçado com o auxílio do Cmap Tools.

Podemos usar os mapas conceituais como uma ferramenta, afim de evidenciar o processo de aprendizagem significativa, levando em conta a concepção de que não existe um mapa conceitual correto sobre um tema, mas sim uma família de mapas. Cada mapa conceitual é elaborado de acordo com as relações significativas que o aluno atribui aos conceitos. De acordo com Moreira [27] a importância de um mapa conceitual não está no fato deste mapa estar certo ou não, mas sim se ele nos fornece evidências de que o aluno está aprendendo significativamente o conteúdo. Porém é preciso tomar cuidado para não cometer o engano de que qualquer mapa está correto (possui relações significativas), pois alguns mapas são desconexos conceitualmente e sugerem falta de compreensão.

Por se tratar de uma manifestação individual, a avaliação de um mapa conceitual não pode ser tomada como uma avaliação comum de uma questão múltipla escolha, ou uma questão subjetiva que no fim converge a somente um resultado. Trata-se de uma análise essencialmente qualitativa e que requer um esforço por parte do professor e apontam e uma direção que requer enfoque no ensino e na aprendizagem, em detrimento

de um “ensino convencional”, no qual o professor não dá margens para interpretações pessoais e o aluno mecanicamente memoriza conteúdos e os reproduzem nas avaliações, sem agregar qualquer significado a este conteúdo. Visando provocar esta mudança na maneira de ensinar, avaliar, e aprender, fazemos uso significativo dos mapas conceituais neste trabalho.

3. OBJETIVOS

Pretendemos com este trabalho propor uma possível abordagem para o ensino de Relatividade no ensino médio. Alguns dos objetivos que pretendemos alcançar com este trabalho são os mesmos descritos no PCN + de Física, e em alguns currículos das redes estaduais de educação. Outros constituem objetivos que acreditamos serem essenciais para compreensão do verdadeiro papel da ciência na sociedade, ou seja, trazer benefícios para toda a humanidade, contribuindo para uma visão racional e crítica à cerca dos fenômenos da natureza.

Trataremos inicialmente da relatividade Galileana, e pretendemos que os alunos a reconheça em seu cotidiano. Apresentando a relatividade Galileana e a Mecânica Newtoniana objetivamos que os alunos possam evidenciar o estabelecimento de um pensamento científico. Logo após mostraremos a evolução do pensamento científico e de alguns conceitos da Física, desde Galileu a Einstein, objetivando que os alunos possam interpretar o conhecimento científico como algo mutável e que pode ser construído a partir de um pensamento pré-existente quando testamos suas limitações. Iremos expor a Relatividade Restrita pretendendo que os alunos a reconheçam como a concepção de um novo pensamento científico.

Pretendemos utilizar um questionário afim de identificar falhas nos processos de aquisição das noções galileanas de movimentos, e também realizar uma investigação a respeito do tipo de pensamento (Galileano ou Aristotélico) predomina em nossos alunos. Utilizaremos também de dois questionários avaliativos, um primeiro para investigar os conhecimentos prévios que os alunos possuem, assim como algumas opiniões pessoais, e um segundo afim de investigar os conhecimentos adquiridos com o curso, assim como algumas opiniões pessoais. Estes questionários contaram também com perguntas subjetivas, as quais serão utilizadas para a elaboração de uma apostila em trabalho posterior.

Objetivamos que os alunos façam reflexões a respeito do conteúdo estudado, ou sobre os métodos científicos, assim como a ciência como parte de uma construção humana inserida em um processo histórico e social.

Ao final das aulas esperamos que os alunos tenham uma noção mínima e qualitativa das Teorias da Relatividade Restrita e Geral, assim como identificar os limites da Relatividade Galileana. Esperamos que eles sejam capazes de identificar as principais razões por trás da concepção de cada uma das teorias. Esperamos ainda que possam exemplificar a utilização destas teorias em novas tecnologias e, também, como ferramental teórico para outras áreas da Física.

4. METODOLOGIA

Os desenvolvimentos dos tópicos propostos neste trabalho seguirão uma sequência didática que coincide propositalmente com a sequência histórica, da qual faremos constante uso, sendo esta uma das principais ferramentas a ser utilizada. Introduziremos os tópicos falando dos cientistas e suas ideias. Assim, a motivação por trás de cada avanço científico que mostraremos, constituirá um caminho para a compreensão dos alunos.

Deixaremos claro ao longo de todo trabalho que nossa preocupação não se limitará apenas a transmissão de conhecimento através dos conteúdos, pois pretendemos que os alunos obtenham uma visão geral do que está acontecendo, ou seja, a evolução dos conceitos científicos atrelada as consequências que esta evolução traz a própria ciência, a tecnologia, e a sociedade. Desta forma estaremos sempre reafirmando que a ciência é uma construção humana que busca estudar, compreender e descrever a natureza. Claro que o conteúdo é importante e pretendemos que os alunos o aprendam da forma mais significativa possível. Porém, entendemos que o ensino de Física necessita de mudanças, e estas mudanças devem ocorrer principalmente nas aulas, na abordagem dos tópicos e na forma como se avalia o aluno.

As aulas foram distribuídas em 4 tempos de 2 horas cada, que seria equivalente ao tempo que um professor de ensino médio teria para trabalhar este conteúdo em sala de aula, levando em conta a proposta curricular do currículo mínimo do estado do Rio de Janeiro, o qual nos baseamos para realização deste planejamento. Trabalhamos com alunos do 2º e 3º ano do ensino médio, da rede pública e privada. A seguir discutimos os

conteúdos que foram trabalhados em cada aula e detalhamos como os principais objetivos foram tratados em sala, a cada aula, para esclarecimento da metodologia proposta no ensino da Teoria da Relatividade.

4.1 AULA 1

Começamos a aula 1 com uma investigação a respeito do tipo de pensamento que predomina no senso comum dos nossos alunos, nos referimos a um tipo de pensamento aristotélico sobre movimento, ou um tipo de pensamento galileano. Em seguida trabalhamos conceitos relativos a necessidade de se medir Espaço e Tempo, construímos o conceito de referencial, e descobrimos as transformações de Galileu entre diferentes referenciais inerciais.

Nesta aula utilizamos de vários recursos didáticos, como por exemplo: imagens, vídeos, experimentos, interdisciplinaridade, entre outros.

4.1.1 A interface entre Aristóteles e Galileu

Em seu Livro Galileu na sala de aula [28], Caruso, Jorge e Oguri trabalham na premissa de que: “[...] Não se deve falar de Física moderna em sala de aula para alunos que ainda têm uma mente aristotélica com relação à questão do movimento”. Acreditamos que violar esta ordem natural pode de fato comprometer todo o processo de aprendizagem. Para tal introdução de Física Moderna necessitamos que os alunos tenham todos os subsunçores galileanos ativos. Afim de investigar o pensamento predominante em nossos alunos analisamos as respostas que eles forneceram a duas questões cobradas no vestibular da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), em 1999, que contrapõe claramente a visão de Galileu Galilei àquela de Aristóteles. Estas questões possuem as respostas dos vestibulandos analisadas estatisticamente por Caruso, Jorge e Oguri em seu livro e são apresentadas no Capítulo 5 desta monografia, na Seção 5.1 – Primeira Avaliação.

4.1.2 A necessidade de se medir o Espaço

Começamos por definir posição, e definimos espaço como um conjunto de posições. A necessidade de se localizar no espaço ganhou sentido ao introduzirmos o espaço unidimensional, que representamos por um barbante com pontos numerados a partir de uma posição inicial grafada como “posição zero” (origem do nosso espaço). Afim de testarmos nossas habilidades em realizar medidas unidimensionais (que é o tipo de medida que iremos considerar em praticamente todos os casos a serem trabalhados), e tendo posicionado nosso barbante devidamente numerado no centro da sala de forma a conectar duas paredes opostas, pedimos aos alunos para identificar a posição de um colega em relação a este eixo horizontal que fixamos, feito isto, e tendo a posição do aluno sido identificada corretamente, pedimos aos alunos para identificarem em relação ao mesmo eixo horizontal a posição de um colega que estava atrás do primeiro colega a ter sua posição identificada. Certamente isto causou um ponto de problematização, pois a posição a ser identificada será a mesma. Pedimos aos alunos que nos sugerissem soluções para o problema.

Tomando posse de mais um pedaço de barbante também devidamente numerado e na mesma escala do primeiro, compomos um plano cartesiano, traçando este novo eixo perpendicularmente ao primeiro e de forma a conectar duas paredes opostas. Pedimos aos alunos que novamente identificassem a posição do segundo aluno, agora o fizeram com duas coordenadas. Fornecemos ainda à atividade uma extensão natural, perguntando aos alunos o que eles sugerem caso queiramos identificar por exemplo a posição de um beija-flor que paira no ar sobre uma flor.

E para finalizar recuperamos algo que os alunos já aprenderam: A localização por coordenadas geográficas. Mostramos o globo terrestre e redescobrimos um método de se medir posições já bem estabelecido desde as séries iniciais. E assim perguntamos aos alunos se eles conheciam outras formas de se medir posições, ou de se localizar objetos ou pessoas no espaço.

4.1.3 A necessidade de se medir Tempo

Nesta parte, começamos por perguntar diretamente aos alunos o que é tempo e por que medir tempo. E após ouvirmos alguns alunos, chegamos a uma definição comum a todos. Mostramos que ao longo da história da humanidade a importância de se medir tempo sempre foi estabelecer uma ordem na qual as coisas acontecem e devem

acontecer. Para tal prosseguimos com uma apresentação em slides onde abordaremos alguns mecanismos de medida de tempo. Abordamos também a questão da simultaneidade na diferença entre o acontecimento de um evento e sua percepção.

4.1.4 O conceito de referencial

Um dos conceitos mais básicos e importante da física clássica é o conceito de referencial. Neste tópico mostramos a importância de se adotar um referencial, e como diferentes observadores em diferentes referenciais descrevem um mesmo movimento de formas diferentes. Para tal realizamos com os alunos o seguinte experimento: Pedimos a um Aluno A que se movesse com o auxílio de um skate em linha reta em velocidade constante e atirasse verticalmente para cima uma bolinha. Em seguida pedimos para que este aluno descreva o tipo de movimento que observava a bolinha realizar, e pedimos também aos demais alunos que descrevessem o tipo de movimento que eles observavam a bolinha realizar. Também tratamos do clássico exemplo de quem gira em torno de quem, relacionado a Terra e ao Sol. E qual seria a visão de um observador externo ao sistema Terra-Sol.

4.1.5 Relatividade Galileana

Mostramos neste tópico as tão famosas transformações de Galileu. A importância de se introduzir a relatividade Galileana encontra sua explicação quando a confrontamos com os resultados do eletromagnetismo.

4.1.5.1 Velocidade Relativa

Novamente utilizamos de um experimento envolvendo os alunos. O que fizemos foi realizar três configurações distintas de movimento relativo. Em cada uma das três configurações contamos com dois observadores representando dois referenciais distintos. Vejamos como se prosseguiu:

Primeira configuração: Posicionamos um aluno ao qual chamamos de Observador A (aluno 1) no centro da sala, e este se encontrou parado em relação as paredes da sala. Posicionamos um segundo aluno ao qual chamamos de Observador B

(aluno 2) de costas para uma das paredes da sala. Pedimos então ao Observador B que munido de um skate se movimentasse uniformemente em direção a parede oposta, passando frente ao Observador A com uma velocidade que podemos considerar constante (em relação as paredes da sala). Conduzimos a seguinte pergunta: Qual é a velocidade que o Observador A mede para o Observador B? Em seguida pedimos aos demais alunos também parados em relação as paredes da sala que informassem qual a velocidade que eles marcariam para o Observador B.

Segunda configuração: Posicionamos um aluno ao qual chamamos de Observador A (aluno 1) de costas para uma das paredes da sala, e na parede oposta posicionamos um segundo aluno ao qual chamamos de Observador B (aluno 2). Pedimos então aos alunos que se locomovessem com o skate uniformemente um em sentido ao outro. Podemos considerar que as velocidades dos dois alunos são aproximadamente constantes, e chamaremos a velocidade do aluno 1 de V_1 , e a velocidade do aluno 2 de V_2 (podendo V_1 e V_2 serem iguais ou não, o que importa é serem constantes). Conduziremos a seguinte pergunta: Qual é a velocidade que o Observador A (aluno 1) mede para o Observador B (aluno 2)? Em seguida pedimos para que os demais alunos parados em relação as paredes da sala que descrevam qual a velocidade que marcariam para o Observador B. Caso alguns alunos sintam-se desconfortáveis com o resultado da medida realizada pelo Observador A, iremos convidá-los a substituírem o Observador A na experiência.

Terceira configuração: Posicionamos um aluno ao qual chamamos de Observador A (aluno 1) de costas para uma das paredes da sala, e ao lado dele, também de costas para parede posicionamos um segundo aluno ao qual chamamos de Observador B (aluno 2). Pedimos a ambos os alunos que se movimentassem no skate em direção a parede oposta, porém o Observador A saiu na frente com “pouca velocidade” e em seguida o Observador B também partiu, só que com uma velocidade um pouco maior, e em um certo ponto da trajetória ultrapassou o Observador A. Podemos considerar que as velocidades dos dois alunos são aproximadamente constantes, e chamamos a velocidade do aluno 1 de V_1 , e a velocidade do aluno 2 de V_2 . Conduzimos a seguinte pergunta: Qual é a velocidade que o Observador A mede para o Observador B? Perguntamos ainda aos demais alunos parados em relação as paredes da sala qual a velocidade que eles medem para o Observador B. Novamente caso alguns alunos se sintam desconfortáveis com o resultado da medida realizada pelo observador A, iremos convidá-los a substituírem o observador A na experiência.

Com estes três simples exemplos pretendemos fixar nos alunos a ideia de que diferentes observadores descrevem diferentes movimentos, na condição de que estes sejam inerciais, ou seja, estejam em repouso ou em movimento retilíneo uniforme.

4.1.5.2 Medindo a velocidade da Luz

Neste ponto da aula os alunos já sabem que diferentes observadores realizam diferentes medidas (sempre na condição de que estejam em repouso ou velocidade constante), pois fora o que acabamos de fazer no tópico anterior. Então utilizamos os conhecimentos adquiridos até aqui para medirmos a velocidade de um objeto que se move em relação a um referencial S' , e este referencial também executava um movimento em relação a um outro referencial S , que por sua vez se encontrava em repouso (nosso referencial). Mais uma vez chamamos a atenção ao fato de que todas as velocidades consideradas aqui são velocidades constantes.

Prosseguimos novamente com um experimento realizado com a ajuda dos alunos. Nosso referencial S' foi um aluno equipado com um skate posto em movimento, e nosso referencial S (parado em relação as paredes da sala) foram todos os outros alunos postos em suas cadeiras. Inicialmente marcamos uma posição no piso da sala, e pedimos para que um aluno portando um “atirador” (dispositivo feito com elástico, e um pequeno galho de árvore) disparasse horizontalmente um projétil de papel, e marcamos o alcance deste projétil. Em seguida pedimos ao mesmo aluno que agora sobre o skate em movimento que ao passar pela marca que realizamos no piso disparasse o projétil de papel novamente, e marcamos o alcance do projétil. Compararemos os resultados.

Mostramos ainda uma animação em slides em que um observador A parado em uma plataforma observa um trem se movendo para direita. Dentro deste trem encontra-se um Observador C parado em relação as paredes de trem, e um Observador B caminhando dentro deste trem, e também para a direita. Perguntamos aos alunos qual velocidade o Observador A parado na plataforma mede para o trem, e qual a velocidade que ele mede para o Observador B em movimento dentro do trem? Introduzimos ainda o caso em que há um terceiro observador C parado em relação ao vagão do trem.

Nosso próximo passo foi medir a velocidade da luz! Na verdade, o que fizemos foi perguntar aos alunos qual seria a velocidade que eles (no referencial S) mediriam para um raio de luz que saísse de uma lanterna em movimento na mão do aluno no

skate. Para tal pedimos que um aluno primeiramente ligasse uma lanterna na posição marcada no piso, e constatamos com os alunos que a velocidade a ser medida será a própria velocidade da luz (c), a qual fornecemos com sendo 300 milhões de metros por segundo. Em seguida pedimos ao aluno que se movimente com o skate e quando estivesse sobre a marca do piso ligasse a lanterna. Então perguntamos aos alunos qual velocidade que eles no referencial S marcam para a luz. Ilustramos este experimento também através de animações em slides. Utilizaremos também de alguns vídeos afim de consolidar a compreensão.

Feito isto, conseguimos alcançar um dos objetivos, o de estabelecimento do pensamento científico.

4.1.6 Os Mapas Conceituais

Como parte final desta primeira aula apresentamos aos alunos os mapas conceituais. Realizamos uma introdução de modo a explicar o objetivo de tal construção, pretendendo que nossos alunos os entendessem como uma ferramenta capaz de promover a organização dos conceitos em suas estruturas cognitivas. Fornecemos alguns exemplos sobre mapas conceituais e apontamos algumas etapas para a elaboração dos mesmos. As etapas são as seguintes: Selecione os conceitos, nomes, ou palavras que pretende relacionar em seu mapa conceitual; Ordene os conceitos, colocando os mais gerais, mais inclusivos, no topo do mapa e, gradualmente, vá agregando os demais até completar o diagrama; Conecte os conceitos com linhas e rotule essas linhas com uma ou mais palavras-chaves que explicitem a relação entre os conceitos; Setas podem ser usadas quando se quer dar um sentido a uma relação; Balões de diferentes formatos podem indicar conceitos mais abrangentes. Trabalhamos alguns exemplos com os alunos. Após a introdução e explicação de como funcionam os mapas conceituais, propomos aos alunos uma atividade de construção de um mapa conceitual relacionado com os conceitos abordados durante a aula.

4.2 AULA 2

Nesta aula realizamos uma breve introdução a mecânica desenvolvida por Isaac Newton, e demos ênfase nas definições de espaço e tempo em que a mecânica fora

construída, chamando atenção para o fato de que a Mecânica de Newton está em completo acordo com as transformações de Galileu. Sendo assim as leis da Mecânica são invariantes na classe dos referenciais inerciais. O Pai da Física Moderna, deve ter seu destaque nesta passagem de um enfoque clássico de medidas de espaço e tempo para um enfoque que envolva a relatividade restrita. Apresentamos a visão que Newton construiu em relação a espaço e tempo. Pretendemos que os alunos compreendessem a grande importância e influência que os estudos de Newton trouxeram, e que grande parte dos fenômenos físicos que vemos ocorrer em nosso dia-a-dia podem ser explicados pela Mecânica Newtoniana. Chamamos a atenção ao fato de que nosso senso comum vai de encontro as noções newtonianas de tempo e espaço, que ambos são absolutos e imutáveis na visão do Lord Inglês. Mostramos que para Newton o espaço é um palco vazio onde tudo acontece, sendo que as ações não interferem no espaço e o espaço não interfere nas ações, sendo o tempo uma grandeza que passa de forma igual para todos os referenciais. Construir estas ideias mais primitivas de espaço e tempo é o que nos possibilitará mais tarde uma problematização em cima destas afirmações.

Tendo informado os alunos sobre a cinemática e dinâmica de Galileu e Newton realizamos um salto de dois séculos a outra área da Física que emergia com novos e surpreendentes resultados, o Eletromagnetismo. Afim de introduzir o surpreendente resultado que o eletromagnetismo nos fornece apresentamos uma breve história da luz, ou seja, as diversas interpretações que o fenômeno já teve ao longo da história, chegando ao estabelecimento de uma função de onda provinda da unificação entre os fenômenos elétricos e os fenômenos magnéticos, unificação esta realizada por James Clark Maxwell.

A luz, sem dúvidas é um dos fenômenos que mais intrigou os homens ao longo do tempo. Mostramos neste tópico por meio de imagens, vídeos e comunicação oral, desde as primeiras teorias filosóficas para se explicar o fenômeno até a mais aceita teoria científica. Durante esta explicação tomamos muito cuidado com as expressões que utilizamos, afim de não confundir os alunos. Após apresentar estes conhecimentos instigamos os alunos a seguinte pergunta: Se a velocidade da Luz independe do referencial, como fica sua conexão com as transformações de Galileu, onde mediamos para luz, velocidades diferentes, em diferentes referenciais? Mostramos aos alunos que esta foi a mesma pergunta feita pelos Físicos da época. Pretendemos que os alunos compreendessem que ao verificar limitações nas teorias, o pensamento científico naturalmente tende a procurar por novas explicações, e esta é a fase de transição entre

pensamentos científicos. Em seguida apresentamos aos alunos uma tentativa de resolver o problema, o Éter. Como esta aula conta com um grande teor qualitativo, nos utilizamos de vários recursos audiovisuais, afim de consolidar os conhecimentos adquiridos pelos alunos durante nossa aula (que foi basicamente constituída por slides). Nesta aula utilizamos várias partes de vídeos onde são demonstrados por excelentes ilustrações os conceitos que estamos trabalhando. Visando que os alunos compreendessem da forma mais simples possível a propagação de uma onda eletromagnética fizemos uma analogia com o trole ferroviário (Figura 2) onde as oscilações dos braços mecânicos levam ao movimento do trole.

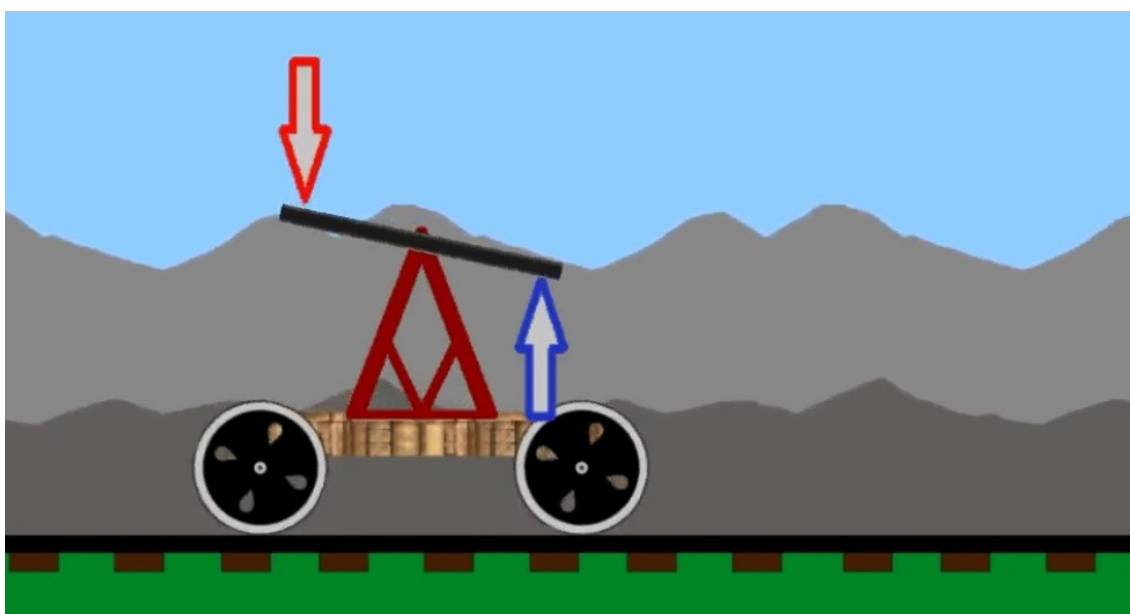


Figura 2: Trole Ferroviário representando uma onda eletromagnética.

Mostramos aos alunos que na tentativa de solucionar o problema de conciliação da Relatividade Galileana com o eletromagnetismo, os cientistas da época propuseram um meio hipotético denominado Éter, no qual a velocidade da Luz seria tal que a prevista pelas equações do eletromagnetismo. Dizemos a eles que, porém, este meio não fora detectado. (Neste ponto não entramos em detalhes sobre o experimento realizado, para não tirar o foco). Nesta parte o que nos interessava era mostrar aos alunos que não existe um meio privilegiado no qual a velocidade da luz fosse “ c ”. Tendo feito isso apresentamos as duas possibilidades restantes: Ou o eletromagnetismo de Maxwell está errado em prever uma velocidade “ c ” para a Luz, ou as transformações de Galileu estão erradas.

Neste ponto o objetivo foi fazer com que os alunos se colocassem no lugar do cientista; é leva-los a identificarem a difícil escolha que deve ser feita. E que, portanto, a transição da mudança no pensamento científico não é algo que sempre ocorre com perfeita unanimidade entre os cientistas.

4.3 AULA 3

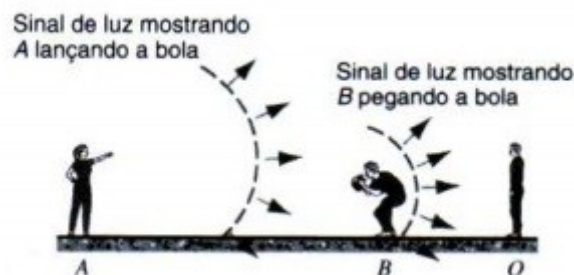
Nesta aula foi apresentada uma solução para o problema que nos assola. Mostramos aos alunos que esta solução foi idealizada por um jovem funcionário de um escritório de patentes em Berna, na Suíça. Seu nome? Albert Einstein.

Começamos a aula realizando um experimento com os alunos, como mostrado na Figura 3-a e Figura 3-b.

a)



b)



Observamos na Figura 3-a: Velocidade de um pulso luminoso (a) a diferença de velocidade entre o lançamento da bola e a propagação da informação do lançamento da bola e na Figura 3-b: Velocidade de um pulso luminoso (b), o Observador O recebe a informação de que o Aluno B pegou a bola antes de receber a informação de que o Aluno A lançou a bola. Resnick, Física 2, 5º ed.

Neste experimento mostramos uma situação absurdo que a mecânica de Newton poderia nos proporcionar. Trata-se de posicionar três alunos em pontos distintos da sala,

a configuração é tal que um Aluno A arremessa uma bola para um Aluno B, e um terceiro Aluno C (Observador O), posicionado logo atrás do Aluno B irá visualizar os dois eventos: O Aluno A lançando a bola para o Aluno B, e o Aluno B recebendo a bola lançada pelo aluno A. Iremos supor com os alunos a situação em que a velocidade da bola lançada pelo Aluno A seja superluminal, ou seja, acima da velocidade da Luz, e que o Observador O esteja em uma posição tal que ele consiga receber um sinal luminoso lançado por C primeiro que um sinal luminoso lançado por A, mesmo estes sinais sendo lançados simultaneamente tanto por A quanto por B. Esta “Gedanken” nos trará o resultado de que o Aluno C receberá a informação de o Aluno B recebeu a bola lançada pelo Aluno A antes de receber a informação de que o Aluno A lançou a bola. Isto se deve ao fato de que na mecânica newtoniana não existe um limite de velocidade a qual um corpo é capaz de atingir, o que causa um certo incômodo, uma vez que não respeita um princípio de causa e efeito. Trabalhamos este experimento de forma bem atenciosa com os alunos, afim de não gerar confusões. Em seguida começamos por reforçar a problematização despertada com a inconsistência entre a relatividade Galileana e o eletromagnetismo, mostrando a necessidade de uma nova concepção que faça com que estas duas teorias se correspondam. Falamos que houveram tentativas, principalmente as vindas de Poincaré e Lorentz. E que inclusive Lorentz desenvolveu um conjunto de transformações capazes de conservar os resultados do eletromagnetismo em qualquer que seja o referencial inercial.

Chamamos a atenção para o fato de que esta interpretação de Lorentz foi puramente matemática, como descrevera o próprio Lorentz, sendo introduzida para defender a ideia do Éter. E então apresentamos Einstein. Mostramos a interpretação Física que Einstein deu as transformações de Lorentz, e as consequências por trás desta interpretação. Mostramos os dois postulados da Relatividade Restrita, falamos da dilatação do tempo e da contração do espaço como consequência de se considerar a velocidade da Luz “ c ” independente do referencial inercial que estamos adotando. Não realizamos uma dedução do fator de Lorentz, porém realizamos uma análise a partir do clássico exemplo do trem de Einstein onde mostraremos uma simulação da revista escola com as diferentes trajetórias de um raio de luz registradas por diferentes observadores, um dentro do trem em movimento com velocidade constante e outro em repouso fora do trem, este raio de luz será lançado do piso do trem e atingirá um espelho no teto onde será refletido de volta a fonte, funcionando como um “Relógio de Luz”, e partindo do segundo postulada da Relatividade Restrita levamos os alunos a assumirem

que se as trajetórias descritas são diferentes, e se a velocidade do raio de luz é sempre a mesma alguma outra grandeza terá que variar, ou o espaço ou o tempo, ou então os dois em conjunto. Faremos esta análise das trajetórias para o trem se movendo a uma velocidade baixa (em comparação com a da Luz) e para o trem se movendo a uma velocidade próxima à da luz, e depois comparamos os resultados.

Analizamos com os alunos como se dão as novas medidas de espaço e tempo e alguns resultados a partir do fator de Lorentz γ (Figura 4), resultados estes relacionados a como se comportam as medidas de tempos próprio e impróprio quando assumimos corpos com velocidades abaixo, acima, e com a velocidade da luz.

$$\Delta t = \gamma \Delta t'$$

$$\Delta x = \frac{\Delta x'}{\gamma}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

γ : fator de Lorentz

Figura 4: O fator de Lorentz.

Estabelecemos também um limite para a velocidade de um corpo. Em seguida realizamos com os alunos alguns exemplos da utilização do fator de Lorentz na lousa. Ao fim iremos apresentamos aos alunos alguns resultados que comprovaram a teoria da Relatividade Restrita, resultados como: O tempo de vida de um Píon criado em altas velocidades; experimentos com aceleração de elétrons (Figura 9) em que estes apresentam uma velocidade limite, independente da energia fornecida.

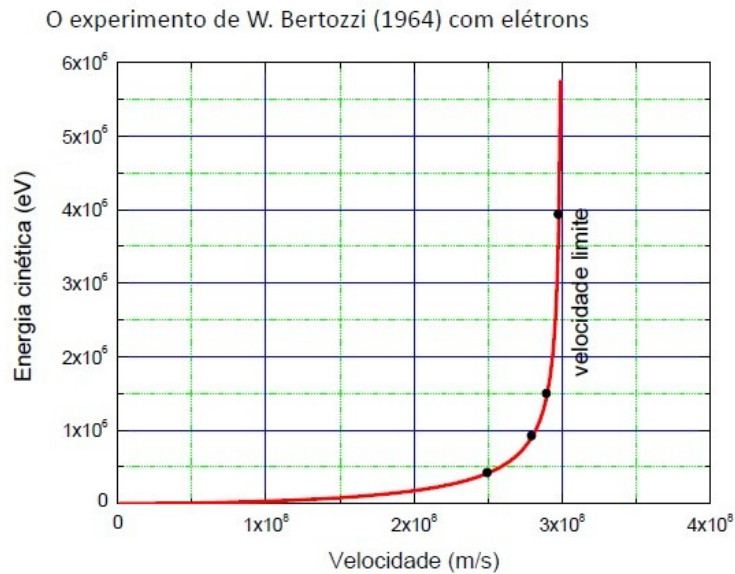


Figura 5: Limite de velocidade para um corpo, Bertozzi (1964).

Analizamos também a equação $E=mc^2$, explicando o significado por trás de cada termo, e o que esta equação significa, nesta parte além de abordar a fusão e fissão nuclear iremos mostrar aos alunos um aplicativo ilustrando a principal aplicação de $E=mc^2$, a energia nuclear, abordaremos também as bombas atômicas afim de contextualizar com a história da humanidade.

4.4 AULA 4

Iniciamos esta aula apresentando aos alunos a elegante teoria da Relatividade Geral. Realizamos uma abordagem puramente qualitativa, em que demos ênfase nas consequências que esta teoria trás para nossas concepções de tempo e espaço, assim como a grande inovação que traz ao superar a Gravitação de Newton, explicando fenômenos que a Gravitação Newtoniana não era capaz de explicar, como a precessão do periélio de Mercúrio. Começamos por revisar a Gravitação de Newton, chamando atenção ao fato de que a ação gravitacional na visão do Lord inglês era dada por forças, e que esta interação seria instantânea, utilizamos alguns vídeos de documentários para reforçar estes conceitos. Em seguida trabalhamos a Teoria da Relatividade Geral de Einstein, as noções de espaço-tempo curvo, a velocidade limite para o tráfego de uma informação, e a base da Teoria de Einstein, tudo de forma qualitativa e com explicações ricas em imagens. Mostramos aos alunos como a teoria fora comprovada no Eclipse

solar de 1919 e o porquê da necessidade de um eclipse solar, dando ênfase ao desvio do raio de luz devido a curvatura no espaço-tempo causada pela ação do sol.

Feito todo o estabelecimento da nova teoria, trabalhamos com os alunos algumas soluções das equações de Einstein que povoam o imaginário das pessoas, e outras provenientes da simples constatação de um espaço-tempo curvo na presença de matéria ou energia. Tratamos das lentes gravitacionais, mostrando que tanto podem causar efeitos como os observados no eclipse como duplicar a imagem de um objeto, ou mesmo outras configurações possíveis, dependendo basicamente da massa e da forma do objeto massivo que deforma o espaço-tempo.

Em seguida abordamos o frame-dragging, mostrando através de imagens a representação do arrasto de referenciais, e falamos a respeito do Gravity Probe B, um telescópio que tinha como objetivo medir o arrasto que a própria terra causa no espaço-tempo ao seu redor, abordando o princípio de funcionamento deste telescópio através de giroscópios.

Logo após tratamos uma das mais famosas soluções da Relatividade Geral, o Buraco Negro. Falamos de como se originam os buracos negros e algumas de suas principais características, como singularidade e Horizonte de eventos

Assim tentamos responder perguntas relacionadas ao que poderia acontecer se caíssemos em um Buraco Negro, e abrimos espaço para as dúvidas dos alunos. Comentamos ainda a respeito das ondas gravitacionais, que provocam ondulações no tecido do espaço-tempo, respondendo a curiosidades sobre o que aconteceria se fôssemos atravessados por uma onda gravitacional. Outro tema que povoa o imaginário dos alunos são os wormhole's, e realizamos alguns comentários a respeito, deixando bem claro que apesar de serem uma solução possível da equação de Einstein, ainda são especulativos e não foram observados.

Como parte final da aula 4 e de nosso curso, discutimos uma importante aplicação tecnológica que envolve tanto Relatividade Restrita quanto Relatividade Geral, trata-se do GPS, o sistema de posicionamento global. Começamos por mostrar como podemos identificar pontos no espaço com a trilateração, então explicaremos o princípio de Funcionamento do GPS. Feito isto, trabalhamos os conceitos Físicos por traz de seu perfeito funcionamento, necessitando do uso de correções relacionadas a relatividade restrita por estar em alta velocidade (cerca de 3,8 Km/s), e correções relacionadas a Relatividade Geral, por estar em uma região de campo gravitacional menos intenso que o da terra. Estes efeitos Relativísticos são tais que fazem os relógios

dos satélites perderem o sincronismo com os relógios terrestres. O efeito líquido sobre o tempo registrado nos relógios dos satélites será um adiantamento de cerca de 38,6 micros segundos, o que pode acarretar em uma imprecisão de medida de cerca de 11 Km ao final de um dia, caso não sejam utilizadas as correções relativísticas.

Como parte complementar a esta última aula propomos a análise de filmes que envolvam conceitos relativísticos, como o Filme Interstelar.

5. RESULTADOS

Como parte integrante do processo de análise de resultados foram realizadas três avaliações com os alunos, a primeira a fim de identificar o tipo de pensamento que predomina no senso comum dos alunos, um pensamento aristotélico sobre o movimento ou um pensamento galileano. A segunda avaliação diz respeito a investigação dos conhecimentos prévios que os alunos possuem, assim como seus interesses no estudo de Relatividade. A terceira avaliação diz respeito a investigação dos conhecimentos adquiridos durante o curso, assim como obter informações sobre o que os alunos acharam do curso. Entre a segunda e terceira avaliações, na seção 6.4, faremos alguns comentários a respeito da aplicação das aulas.

5.1 PRIMEIRA AVALIAÇÃO

Em nosso primeiro contato com os alunos já iniciamos por lhes propor a resolução das duas questões apresentadas na aula 1 da Metodologia. O objetivo era investigar o tipo de pensamento predominante no senso comum dos alunos através da análise das respostas que eles forneceria a estas questões. Segue abaixo a reprodução das questões que foram trabalhadas na primeira avaliação.

Questão 1.

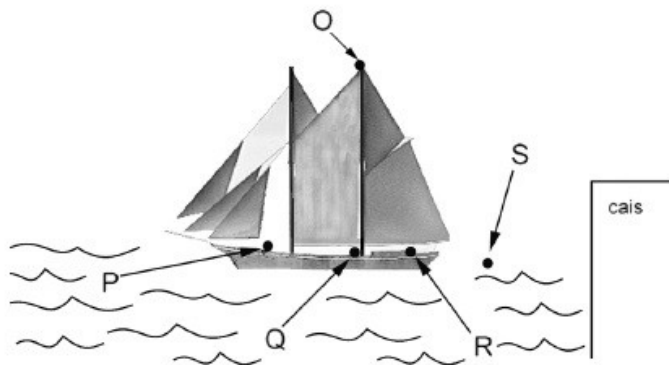
Foi veiculada na televisão uma propaganda de uma marca de biscoitos com a seguinte cena: um jovem casal estava num mirante sobre um rio e alguém deixava cair lá de cima um biscoito. Passados alguns segundos, o rapaz se atira do mesmo lugar de onde caiu o biscoito e consegue agarrá-lo no ar. Em ambos os casos, a queda é livre, as velocidades

iniciais são nulas, a altura de queda é a mesma e a resistência do ar é nula. Para Galileu Galilei, a situação física desse comercial seria interpretada como:

- (A) impossível, porque a altura da queda não era grande o suficiente
- (B) possível, porque o corpo mais pesado cai com maior velocidade
- (C) possível, porque o tempo de queda de cada corpo depende de sua forma
- (D) impossível, porque a aceleração da gravidade não depende da massa dos corpos

Questão 2.

A figura abaixo representa uma escuna atracada ao cais.



Deixa-se cair uma bola de chumbo do alto do mastro - ponto O. Nesse caso, ela cairá ao pé do mastro - ponto Q. Se esta bola for abandonada do mesmo ponto O, quando a escuna estiver se afastando do cais com velocidade constante, ela cairá no seguinte ponto da figura:

- (A) P
- (B) Q
- (C) R
- (D) S

Na tabela 1 apresentamos a relação entre as alternativas e o número de alunos que marcaram tais alternativas.

| Questão | | Frequência de opções marcadas | | | |
|---------|----------|-------------------------------|----|----|----|
| Número | Gabarito | A | B | C | D |
| 1 | D | 0 | 16 | 0 | 10 |
| 2 | B | 1 | 8 | 14 | 3 |

Tabela 1: Frequência de opções marcadas.

Como visto na aula 1 da seção de Metodologia, a Questão 1 diz respeito a dependência ou não da massa em um movimento de queda livre, onde um biscoito cai de uma sacada e logo em seguida um rapaz pula atrás do biscoito e conseguiria agarrá-lo no ar. O objetivo da questão é analisar a situação de acordo com o pensamento Galileano. Pela Tabela 1 observamos que tanto a alternativa A quanto a alternativa C não foram marcadas por nenhum aluno. A alternativa A diz que a situação descrita seria impossível, uma vez que a altura não era grande o suficiente. Já a alternativa C descreve a situação como possível afirmando que o tempo de queda de cada corpo depende de sua forma. A alternativa B foi a que mais teve adeptos, 16 alunos marcaram esta alternativa como a correta, admitindo que a situação seria possível e que o corpo mais pesado cai com maior velocidade. A alternativa D foi marcada por 10 alunos, que interpretaram a situação como impossível e que a aceleração da gravidade não depende da massa dos corpos. De fato, esta alternativa é a correta de um ponto de vista Galileano. Agora o que pode ter levado os demais alunos a optarem pela alternativa D? Uma possível causa seria uma má interpretação da questão, não se atentando ao fato de que não há resistência do ar envolvida, outra causa seria o fato de seguirem um senso comum aristotélico de que os corpos mais massivos caem com maior velocidade, o que justificaria o fato de não marcarem a alternativa A, uma vez que o rapaz pulando para pegar o biscoito necessitaria de mais tempo para alcançá-lo sendo que altura pode não ser o suficiente. Muito provavelmente os alunos mentalizaram a situação ocorrendo em seu dia-a-dia. E o fato de não terem marcado a alternativa C pode estar relacionado a ideia de que mesmo que alguns alunos acreditem que a massa do corpo irá interferir no movimento de queda livre, eles não acreditam que a forma do corpo seja determinante. Abaixo temos duas representações gráficas, a primeira (Figura 6-1) mostra a distribuição do número de alunos por alternativa em ordem decrescente. A segunda representação (Figura 6-2) mostra a distribuição percentual de respostas, Observamos através da Figura 6-2 que 62% dos alunos optaram pela alternativa B, demonstrando uma noção aristotélica sobre o movimento.

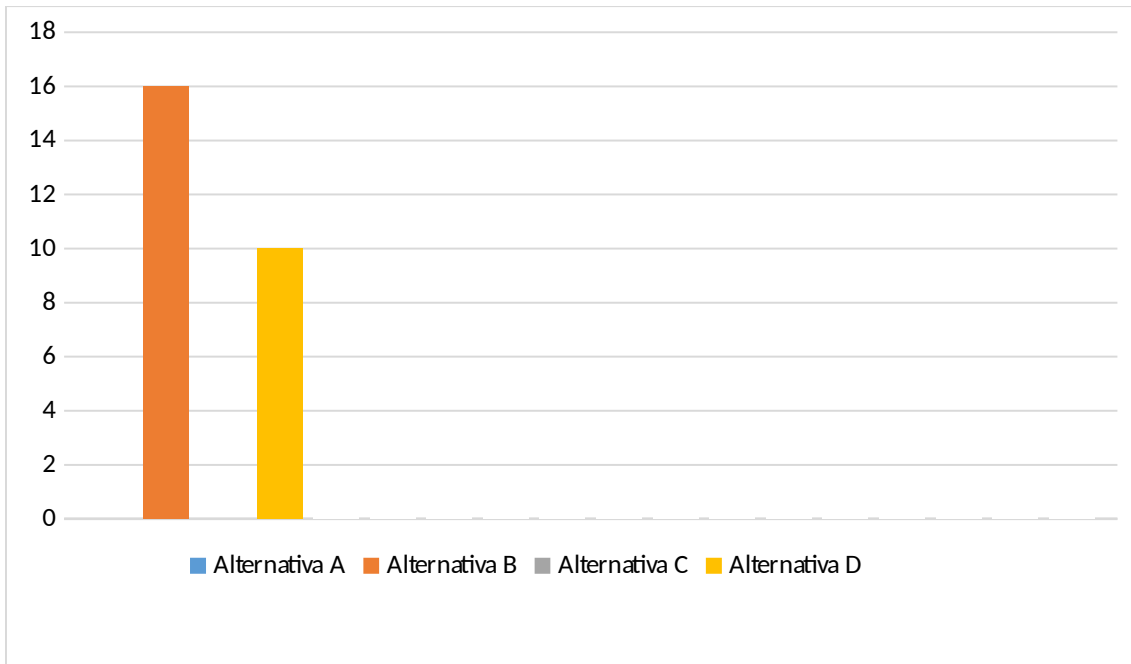


Figura 6-1: Questão 1: Distribuição de alunos por alternativa.

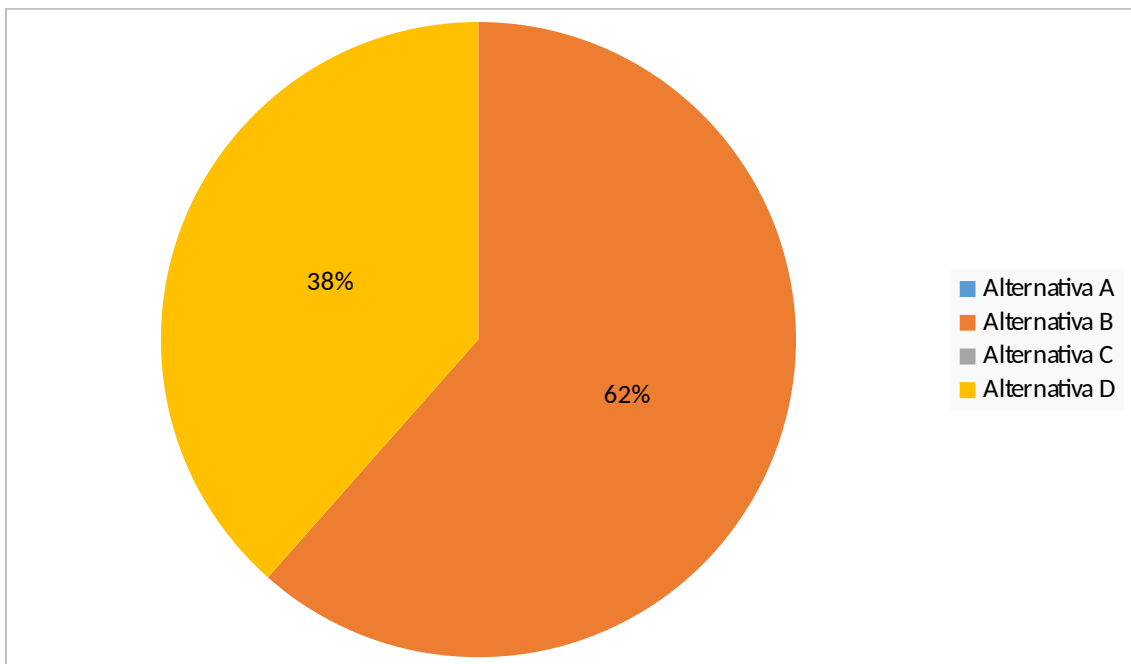


Figura 6-2: Questão 1: Distribuição percentual de respostas.

A Questão 2 trata da continuidade de um movimento cessando-se as forças que atuam sobre o corpo. A ideia é deixar cair do alto do mastro de um barco ancorado no cais uma bola de chumbo, e observasse-a a bola caindo ao pé do mastro. A pergunta é onde a bola cairá soltando-a quando o barco estiver em movimento constante. As

alternativas incluem pontos à frente e atrás do mastro e ao pé do mastro. Pela Tabela 1 observamos que a maioria dos alunos, 14, marcaram a alternativa C como correta, ou seja, atrás do mastro, revelando que os alunos ainda possuíam uma noção aristotélica sobre o movimento. Um aluno ainda marcou que a bola cairia a frente do mastro, e 3 alunos marcaram que cairia bem atrás do mastro, já fora do barco. Apenas 8 alunos responderam corretamente marcando a alternativa B, ao pé do mastro. Abaixo temos duas representações gráficas, a primeira (Figura 7-1) mostra a distribuição do número de alunos por alternativa em ordem decrescente. A segunda representação (Figura 7-2) mostra a distribuição percentual de respostas. Observamos através do Gráfico da Figura 7-2 que 31% dos alunos optaram pela alternativa B (a alternativa correta) e quase 54% dos alunos escolheram a alternativa C. No Apêndice B temos as respostas fornecidas pelos alunos.

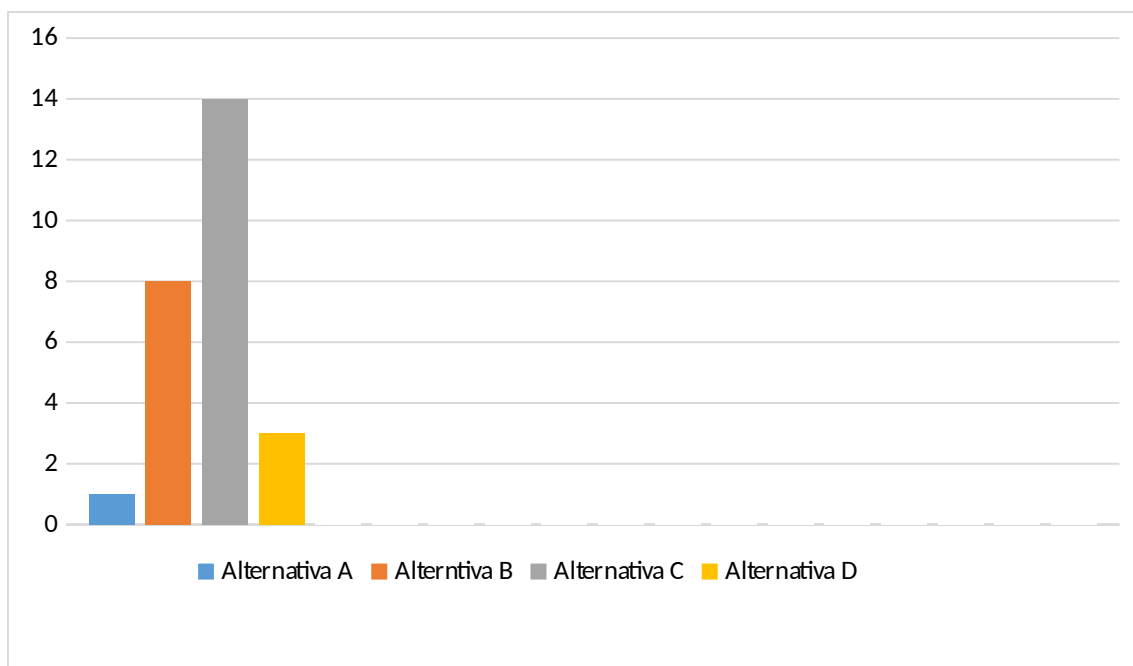


Figura 7-1: Questão 2: Distribuição de alunos por alternativa.

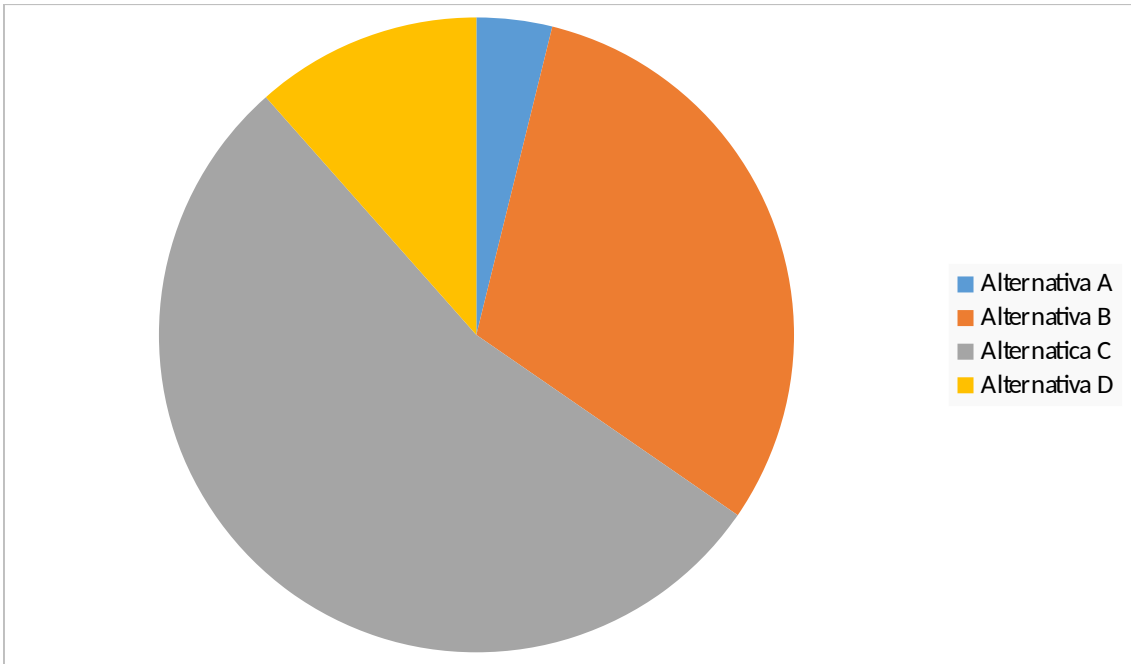


Figura 7-2: Questão 2: Distribuição percentual de respostas.

5.2 SEGUNDA AVALIAÇÃO

A segunda avaliação trata de um questionário que buscava investigar os conhecimentos prévios dos alunos a respeito do tema abordado, assim como seus interesses em aprender Relatividade. Este questionário foi aplicado logo após a primeira avaliação. Segue a abaixo o modelo do Questionário 1.

Questionário 1

Aluno nº _____

Série: _____

Colégio: _____

1. Para haver movimento é necessário que haja força?

Sim () Não () Não Sei ()

2. Você conhece a Teoria de Relatividade de Einstein?

Sim () Não () Não Sei ()

O que você pensa que é esta teoria?

3. Você tem interesse em conhecer melhor a Teoria da Relatividade?

Sim () Não () Não Sei ()

4. Você conhece alguma utilização da Teoria da Relatividade?

Sim () Não () Não Sei ()

Quais?

5. Em que você lembra quando ouvi falar em $E=mc^2$?

Não Sei ()

6. Se a Sol desaparecesse, a Terra se perderia no espaço instantaneamente?

Sim () Não () Não Sei ()

7. Você saberia dizer uma contribuição de cada um dos cientistas abaixo?

Galileu Galilei _____ () Não Sei

Isaac Newton _____ () Não Sei

Albert Einstein _____ () Não Sei

8. Você acha que é importante estudar Ciência?

Sim () Não () Não Sei ()

9. Para você, qual é o papel da Ciência?

() Não Sei

10. Você gosta de estudar Física?

Sim () Não () não sei ()

Por que? _____

Iremos prosseguir com uma apresentação dos resultados das respostas deste primeiro questionário. O questionário compreende uma série de perguntas com respostas objetivas, e algumas subjetivas. As respostas subjetivas servirão como base para elaboração futura de uma apostila, e não farão parte desta análise, os questionários completos encontram-se no Apêndice C deste trabalho.

Na Questão 1 tivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Fig. 8-1):

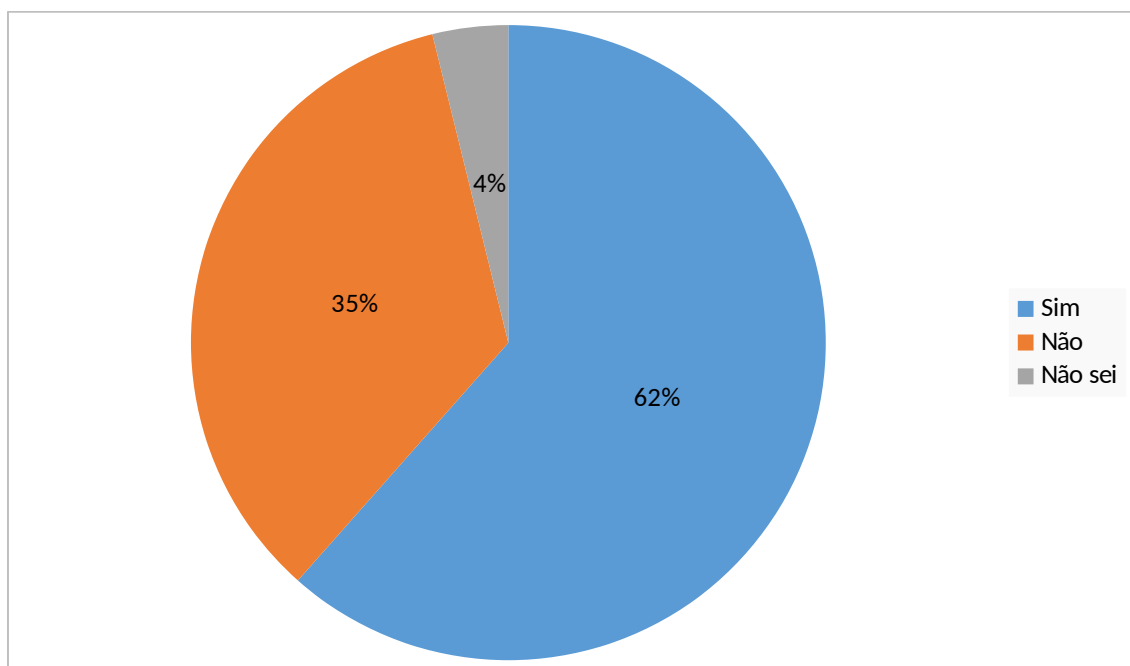


Figura 8-1: Distribuição percentual de respostas da questão 1, questionário 1.

Como podemos perceber, a grande maioria dos alunos acredita que para haver movimento é necessário a ação de uma força, reforçando o fato de que nossos alunos ainda possuem um senso comum aristotélico sobre o movimento.

Na questão 2 obtivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Figura 8-2):

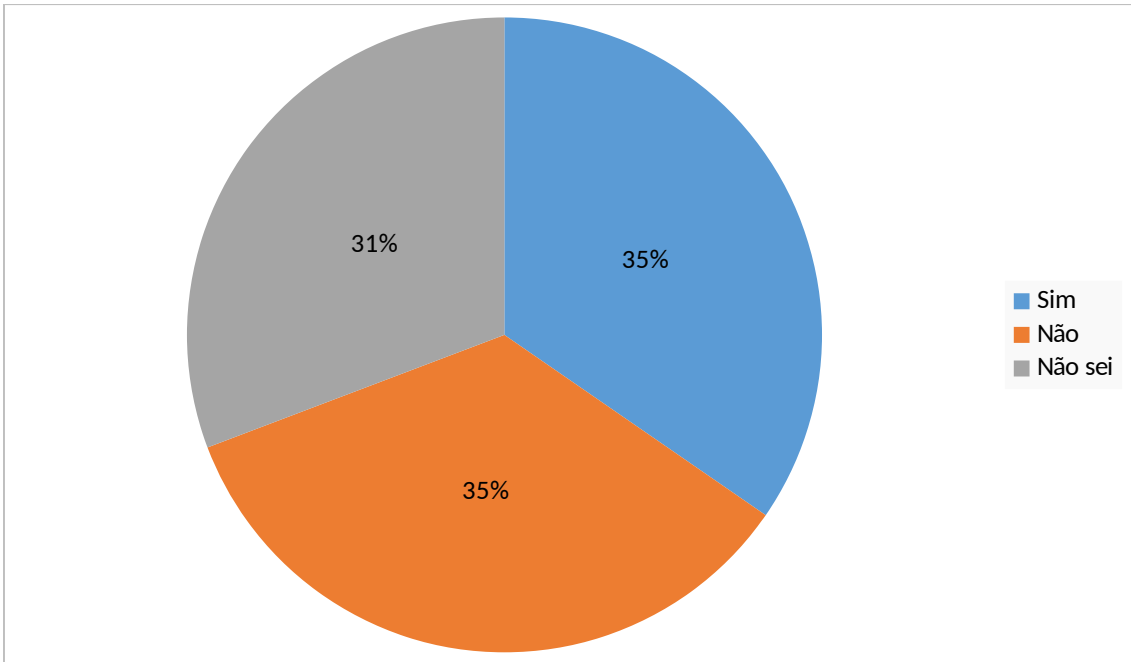


Figura 8-2: Distribuição percentual de respostas na questão 2, questionário 1.

Observamos um grande equilíbrio nas respostas da Questão 2, onde cerca de um terço dos alunos disse conhecer a Teoria da Relatividade, outros dois terços não conhecem, ou não sabem. Na Questão 3 obtivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Figura 8-3):

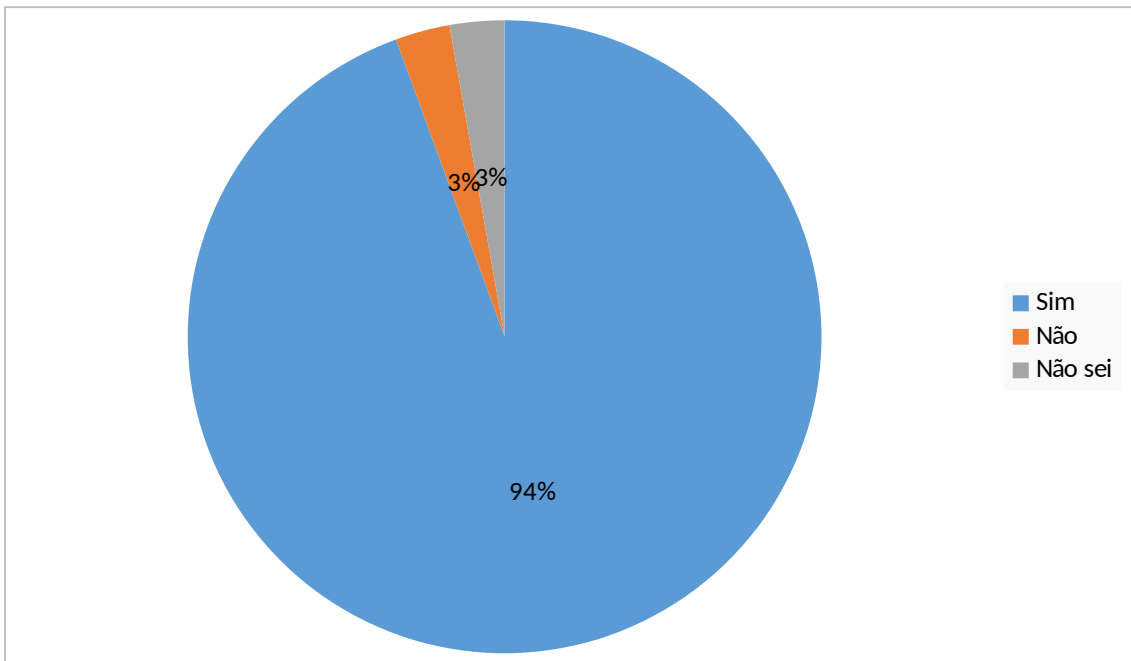


Figura 8-3: Distribuição percentual de respostas na questão 3, questionário 1.

Sendo assim 94% dos alunos possuíam o interesse em conhecer a Teoria da Relatividade. Na Questão 4 obtivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Figura 8-4):

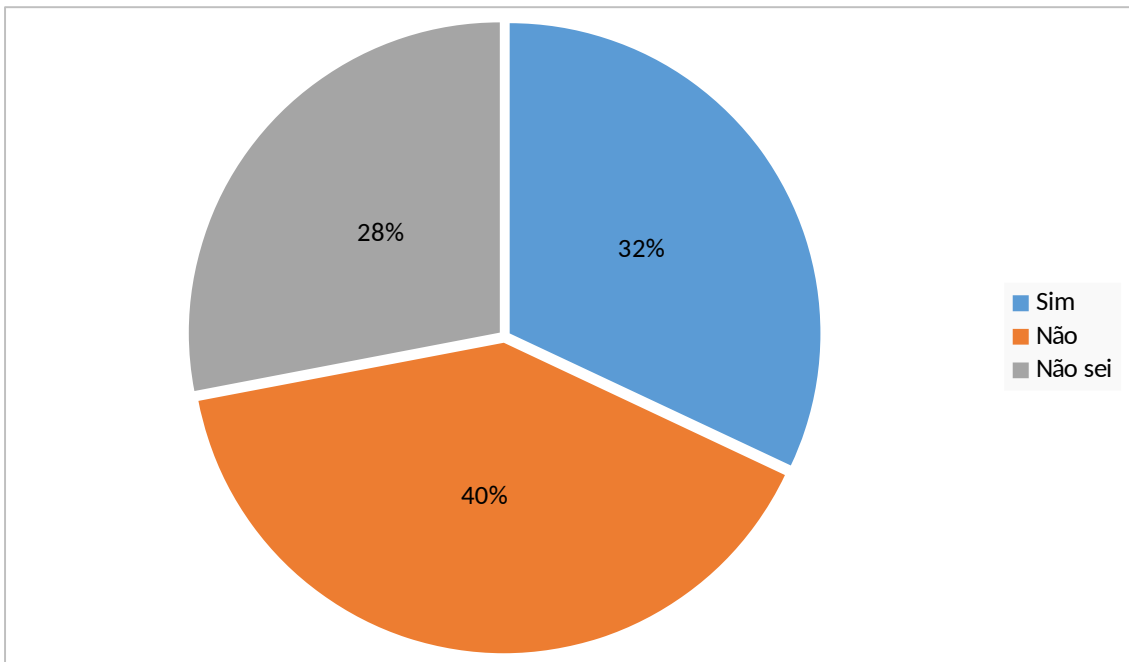


Figura 8-4: Distribuição percentual de respostas na questão 4, questionário 1.

Observamos que a grande maioria dos alunos não sabem ou não conhecem uma aplicação da Teoria da Relatividade. Na Questão 5 obtivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Figura 8-5):

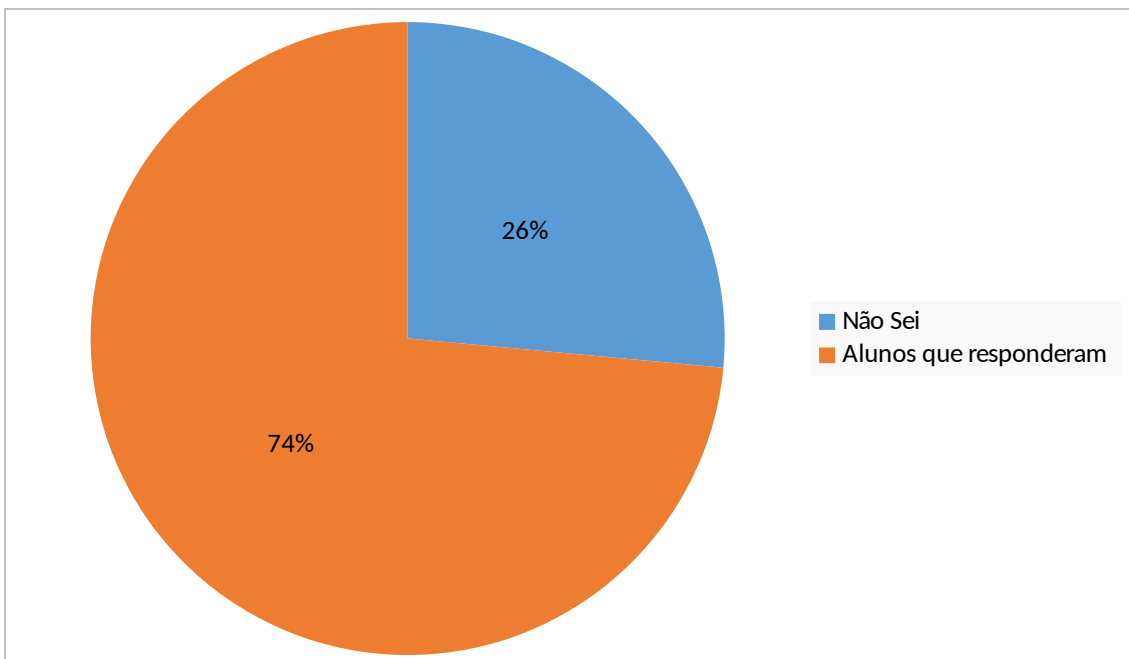


Figura 8-5: Distribuição percentual de respostas na questão 5, questionário 1.

A Questão 5 foi respondida por 74% dos alunos, que em sua maioria responderam ser a equação de Einstein ou bomba atômica. Outros 26% não conheciam uma relação. Na Questão 6 obtivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Figura 8-6):

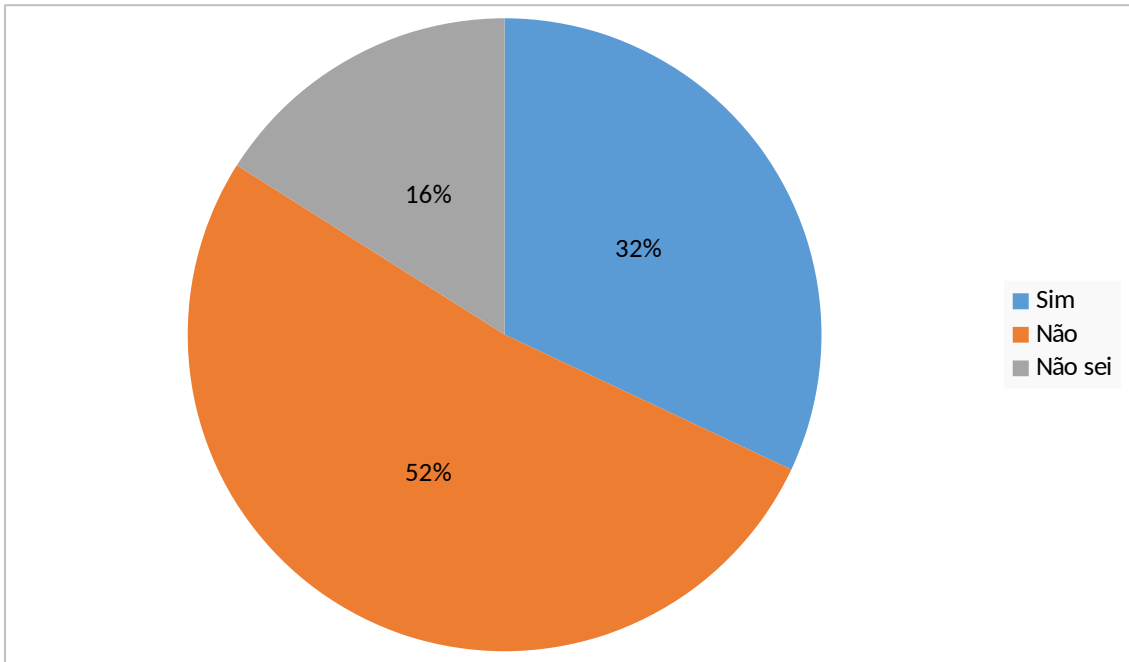


Figura 8-6: Distribuição percentual de respostas na questão 6, questionário 1.

Observamos que 52% dos alunos acreditam que a terra não se perderia pela tangente inercial instantaneamente, ou seja, demonstram ter uma noção de que a informação possui um certo tempo para se propagar de um lugar a outro.

Na Questão 7 obtivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Figura 8-7):

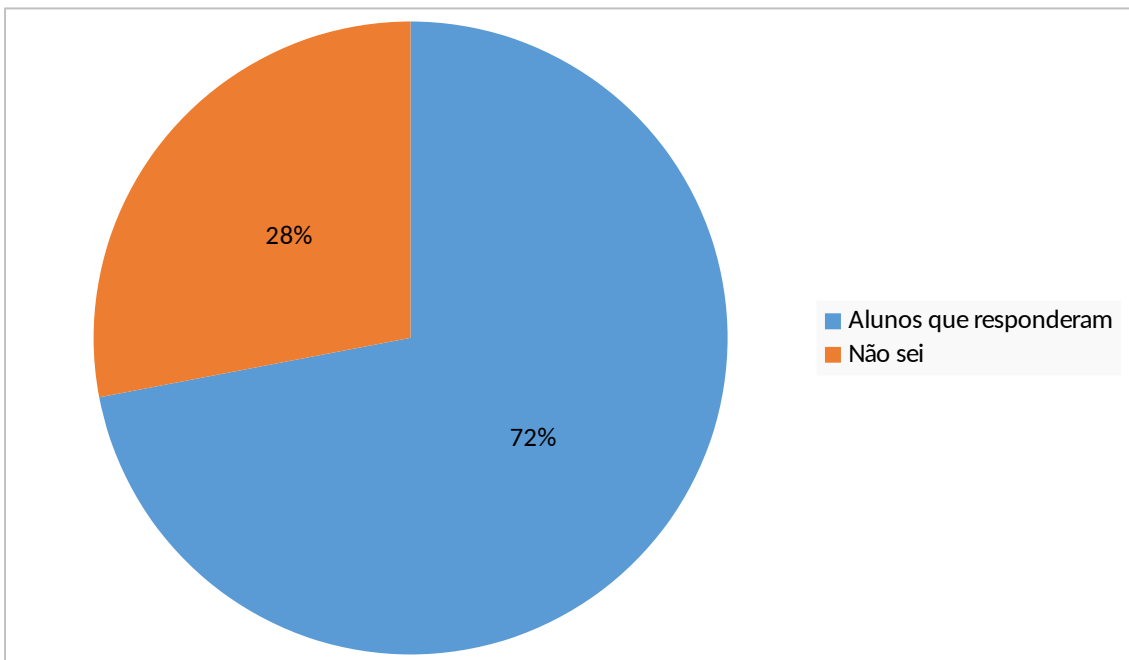


Figura 8-7: Distribuição percentual de respostas na questão 7, questionário 1.

Observamos que 72% dos alunos sabiam identificar contribuições dos cientistas. Na Questão 8 obtivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Figura 8-8):

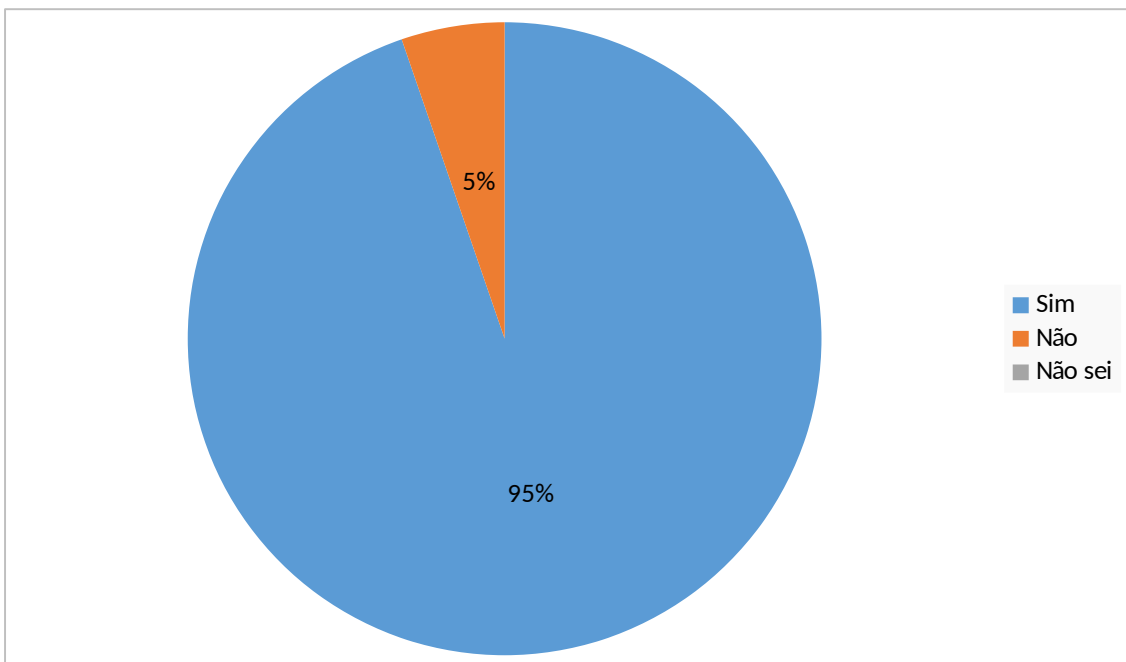


Figura 8-8: Distribuição percentual de respostas na questão 8, questionário 1.

Nesta questão a pergunta era sobre acreditavam ser importante estudar ciência. 95% dos alunos acreditam ser importante.

Na Questão 9 obtivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Figura 8-9):

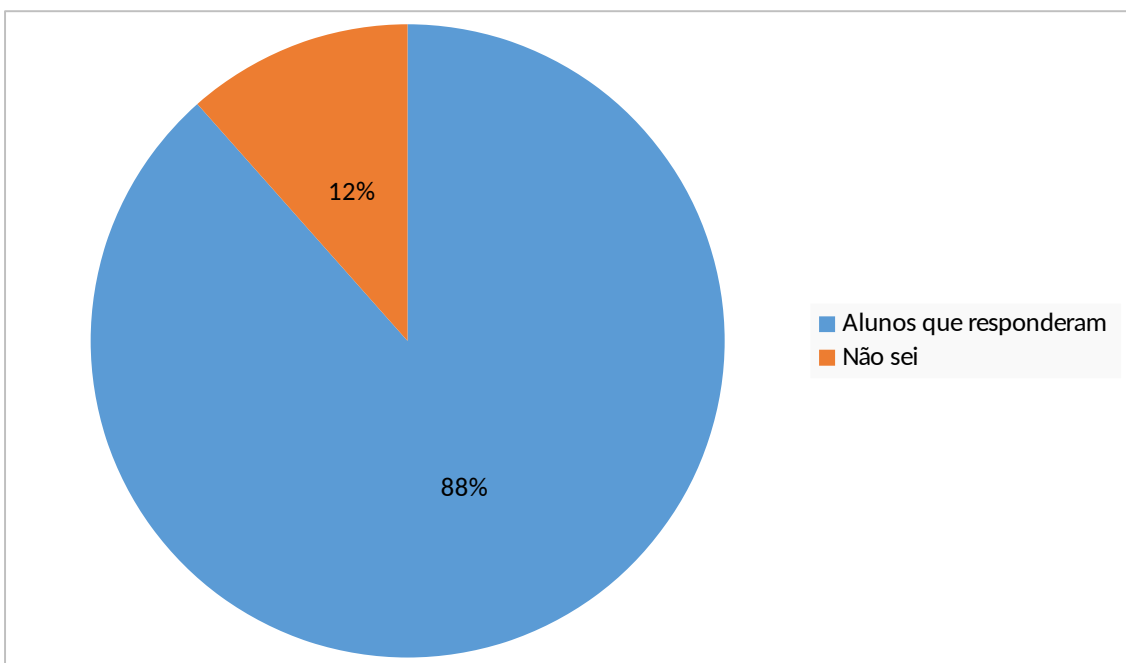


Figura 8-9: Distribuição percentual de respostas na questão 9, questionário 1.

Esta questão envolvia o papel da ciência para os alunos, e cerca de 88% responderam a questão. Obtivemos respostas muito interessantes, como: “Formação

intelectual e social, capaz de abrir mentes e explicar fenômenos antes inexplicáveis”.;”Ajuda a entender o que acontece a nosso redor”.; “Dar maior razão ao mundo”. Entre outras respostas que podem ser conferidas no Apêndice C.

Na Questão 10 obtivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Figura 8-10):

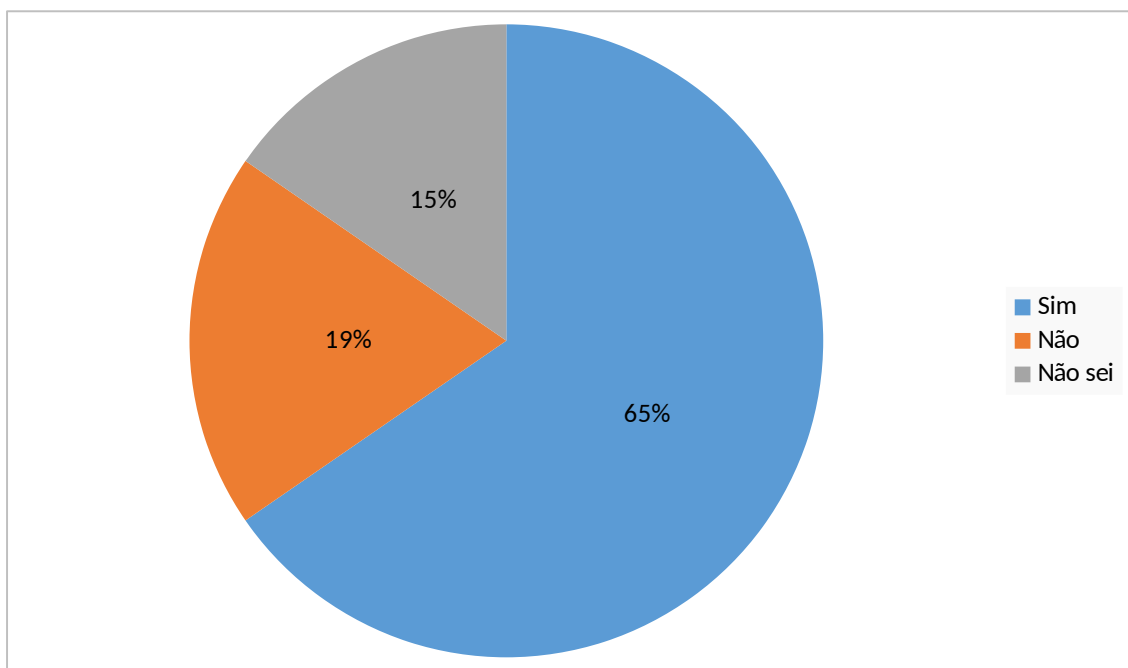


Figura 8-10: Distribuição percentual de respostas na questão 10, questionário 1.

Nesta questão procuramos investigar se os alunos gostam de estudar Física e 65% dos alunos afirmam gostar da disciplina.

Após aplicação deste questionário iniciamos a aula 1 como descrito na metodologia. Ao fim da aula 1 trabalhamos com os alunos os mapas conceituais, e propomos uma atividade para casa, a construção de um mapa conceitual voltado para a primeira aula. Fornecemos aos alunos alguns conceitos e palavras, mas deixamos a relação que eles estabeleceriam por conta deles, como deve ser um mapa conceitual. Pedimos aos alunos que fossem entregando esses mapas no decorrer das aulas, e que fossem explicando o seu mapa e qual a relação que identificavam entre os conceitos envolvidos. Os resultados obtidos foram bem satisfatórios, os alunos expressaram bem a relação entre os conceitos e souberam explicar e dar exemplo das ligações que viam entre tais conceitos. Os mapas conceituais que foram entregues estão disponíveis no Apêndice D.

5.3 TERCEIRA AVALIAÇÃO

A terceira avaliação corresponde ao Questionário 2, onde investigamos a relevância que as aulas trouxeram para a aquisição de conhecimento dos alunos, e os conhecimentos absorvidos durante o curso. Segue abaixo o questionário utilizado.

Questionário 2

Aluno nº _____

Série: _____

Colégio: _____

1. Qual o grau de relevância que este curso de Relatividade teve para sua aquisição de conhecimento?

Péssimo () Ruim () Bom () Ótimo () Excelente ()

2. Você saberia descrever brevemente o que entende por Relatividade?

Sim () Não () Não Sei ()

O que você entende?

3. O que ocorre quando um corpo se move próximo a velocidade da luz?

(A) Dilatação do espaço e contração do tempo.

(B) Dilatação do tempo e contração do espaço.

(C) Dilatação do espaço e contração do tempo.

(D) Dilatação do tempo e dilatação do espaço.

(E) Não Sei

4. Você conhece alguma utilização da Teoria da Relatividade?

Sim () Não () Não Sei ()

Quais?

5. Em que você lembra quando ouviu falar em $E=mc^2$?

Não Sei ()

6. Se a Sol desaparecesse, a Terra se perderia no espaço instantaneamente?

Sim () Não () Não Sei ()

7. Você saberia dizer uma contribuição de cada um dos cientistas abaixo?

Galileu Galilei _____ () Não Sei

Isaac Newton _____ () Não Sei

Albert Einstein _____ () Não Sei

8. Você acha que é importante estudar Ciência?

Sim () Não () Não Sei ()

9. Para você, qual é o papel da Ciência?

() Não Sei

10. Você gosta de estudar Física?

Sim () Não () não sei ()

Por que?

11. Na Relatividade de Einstein, o espaço e o tempo são:

- (A) Absolutos
- (B) Invariantes
- (C) Relativos
- (D) Próprios
- (E) Não sei

12. Como a Relatividade Geral descreve a Gravitação?

- (A) Pela força da Gravidade.
- (B) Pela curvatura do espaço-tempo.
- (C) Pela invariância da velocidade da Luz.
- (D) Pela Lei de Gravitação Universal.
- (E) Não sei.

Iremos prosseguir com uma análise deste segundo questionário. O questionário compreende uma série de perguntas com respostas objetivas, e algumas subjetivas. As respostas subjetivas servirão como base para elaboração futura de uma apostila, e não farão parte desta análise, os questionários completos encontram-se no Apêndice F deste trabalho. Na Questão 1 obtivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Figura 9-1):

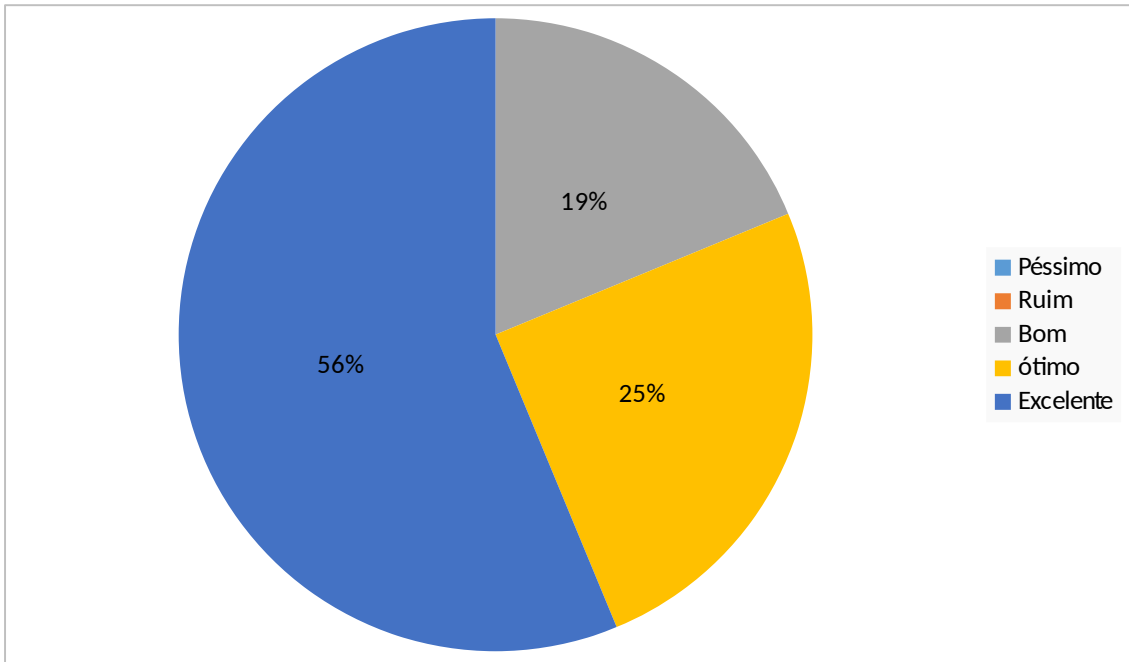


Figura 9-1: Distribuição percentual de respostas na questão 1, questionário 2.

Com base no gráfico da Figura 9-1, observamos que para os alunos nossas aulas obtiveram um satisfatório grau de relevância e clareza.

Na Questão 2 tivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Fig.9-2):

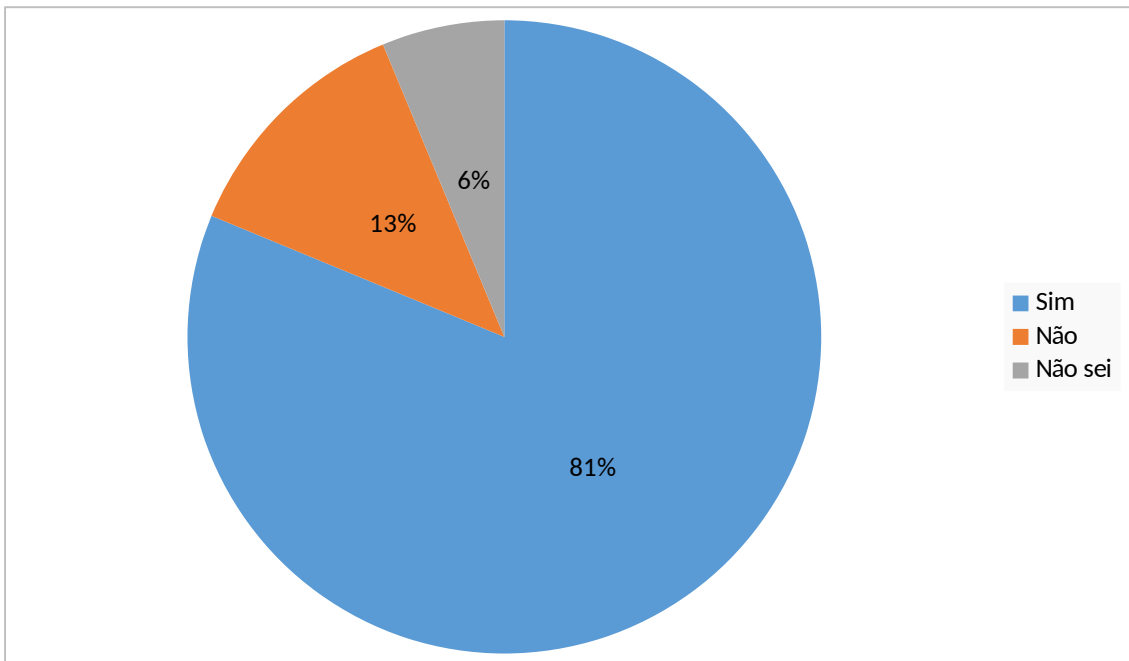


Figura 9-2: Distribuição percentual de respostas na questão 2, questionário 2.

A segunda questão está relacionada a se os alunos saberiam descrever brevemente o que entende por Relatividade. Observamos que cerca 81% dos alunos saberiam, e fizeram de forma bem satisfatória, como pode ser verificado no Apêndice F.

Na Questão 3 tivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Fig.9-3):

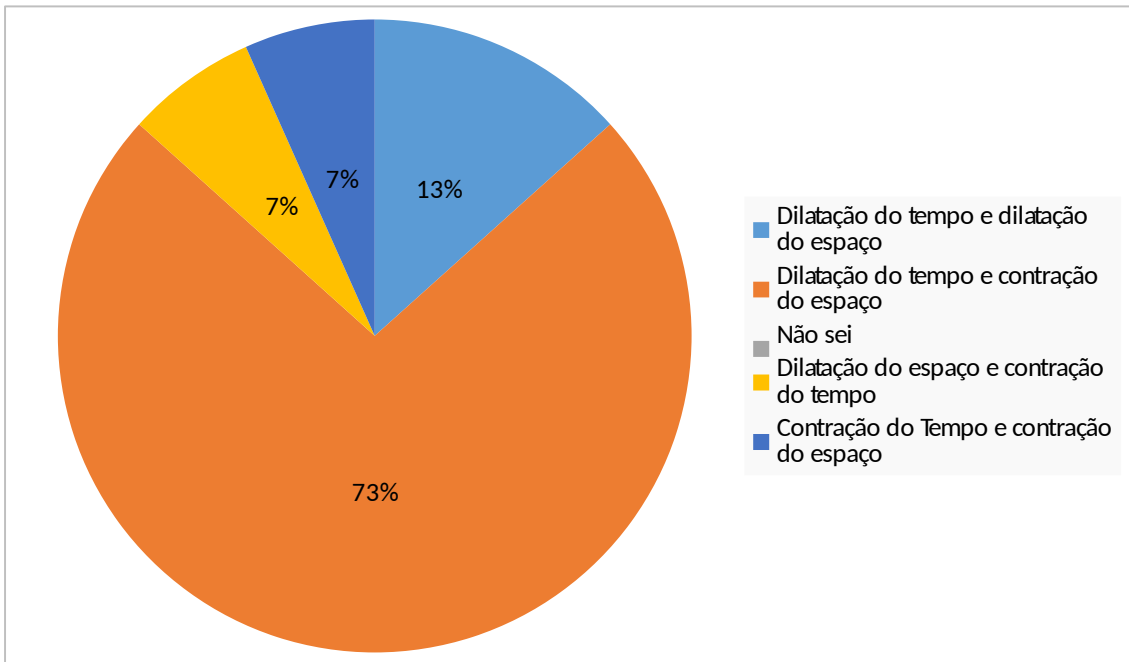


Figura 9-3: Distribuição percentual de respostas na questão 3, questionário 2.

Esta questão não continha a resposta correta entre as alternativas, então escrevemos as alternativas de forma aleatória no quadro e pedimos aos alunos para escreverem a alternativa que julgavam correta ao lado da questão. Observamos que 73% dos alunos acertaram a questão, consideramos este um bom desempenho.

Na Questão 4 obtivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Figura 9-4):

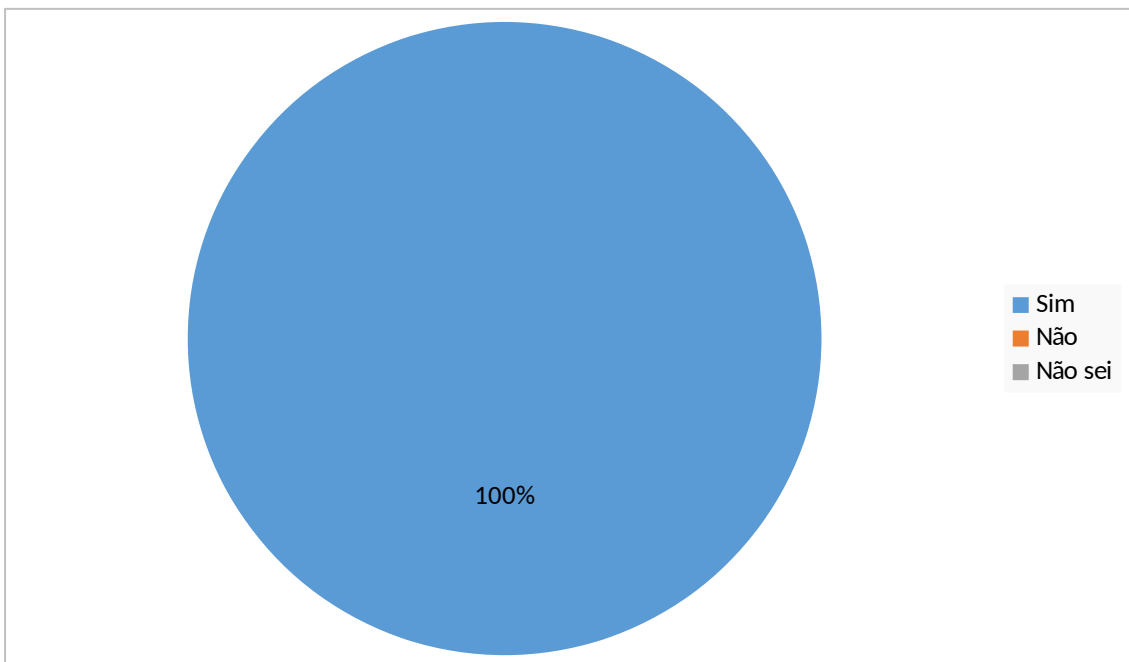


Figura 9-4: Distribuição percentual de respostas na questão 4, questionário 2.

Na Questão 4 perguntamos aos alunos se conheciam alguma utilização da teoria da relatividade, e todos os alunos conhecem. Obtivemos em todas as respostas praticamente a utilização no GPS, e em algumas também relacionadas a energia nuclear. As respostas podem ser conferidas no Apêndice F.

Na Questão 5 obtivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Figura9-5):

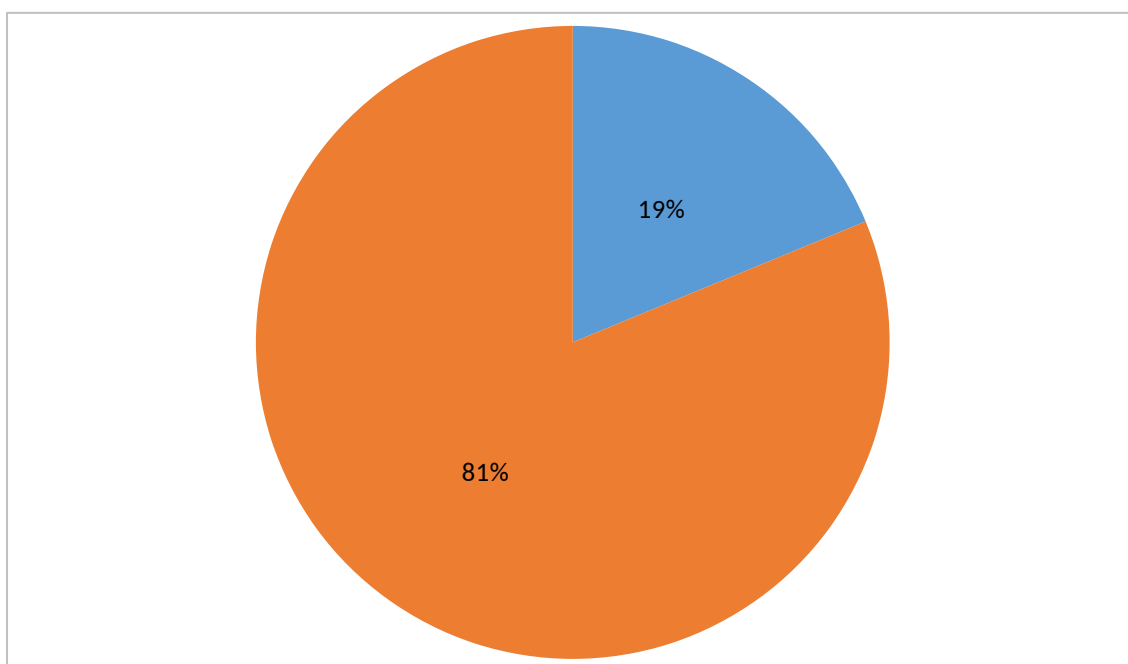


Figura 9-5: Distribuição percentual de respostas na questão 5, questionário 2.

Observamos que 100% dos alunos responderam a questão desta vez, e em sua maioria responderam que diz respeito a bomba atômica ou energia nuclear, como pode ser verificado o Apêndice F.

Na Questão 6 obtivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Figura 9-6):

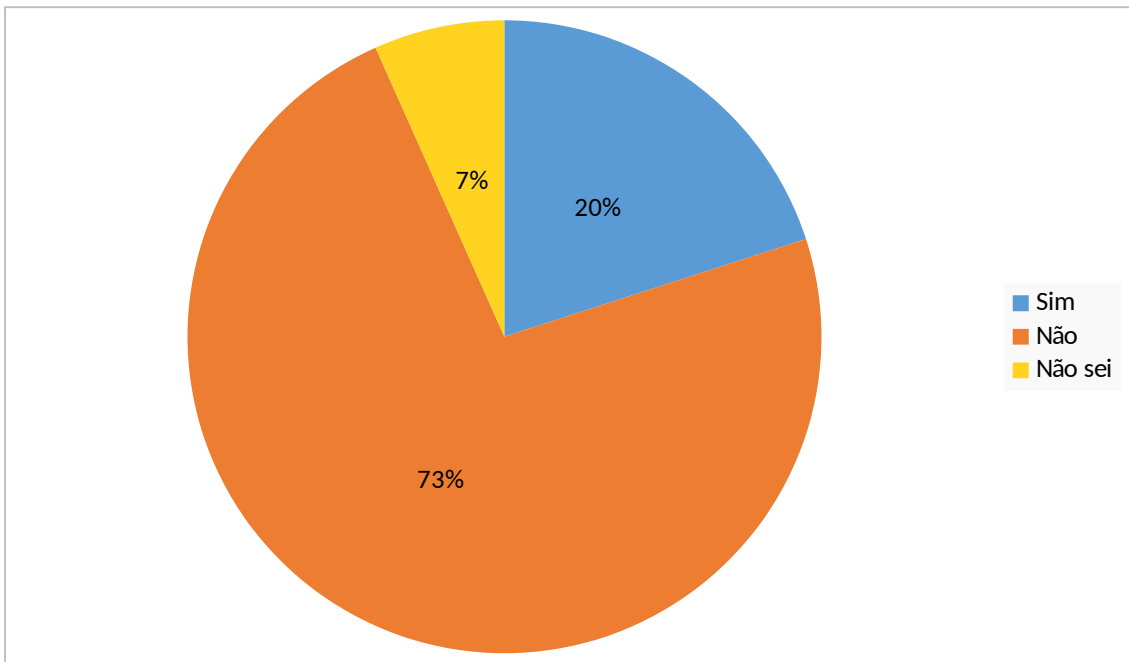


Figura 9-6: Distribuição percentual de respostas na questão 6, questionário 2.

Observamos que 73% dos alunos compreenderam que a deformação do espaço-tempo não se propaga instantaneamente.

Na Questão 7 obtivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Figura 9-7):

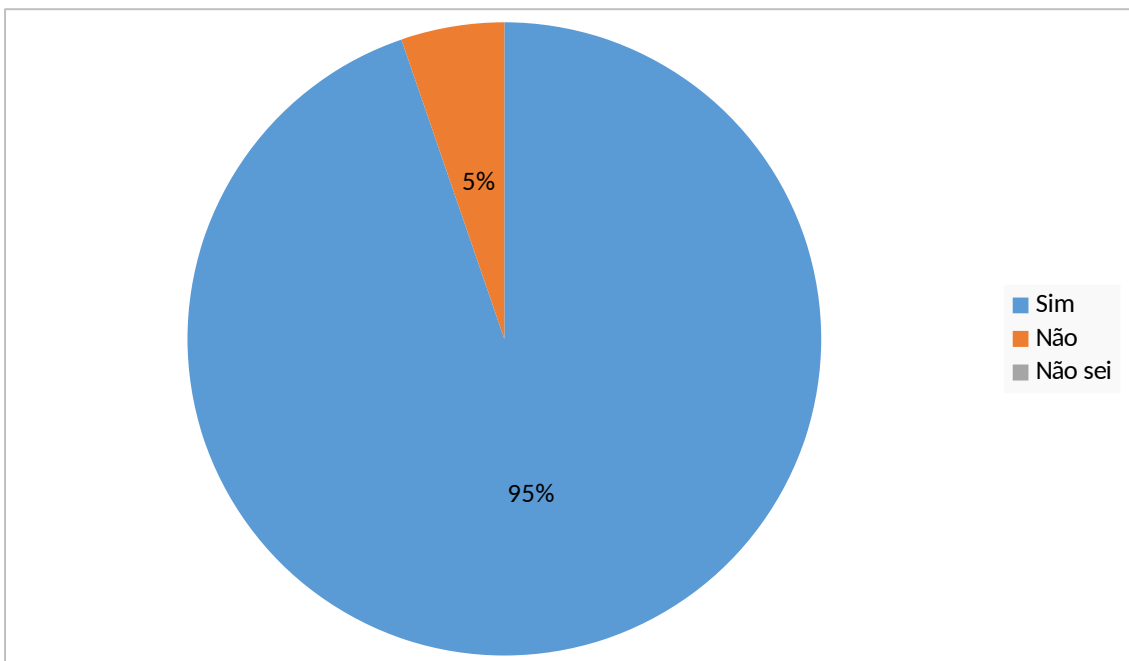


Figura 9-7: Distribuição percentual de respostas na questão 7, questionário 2.

Observamos que 100% dos alunos souberam responder a pergunta, fornecendo assim uma resposta para a contribuição de cada um dos cientistas. Na Questão 8 obtivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Figura 9-8):

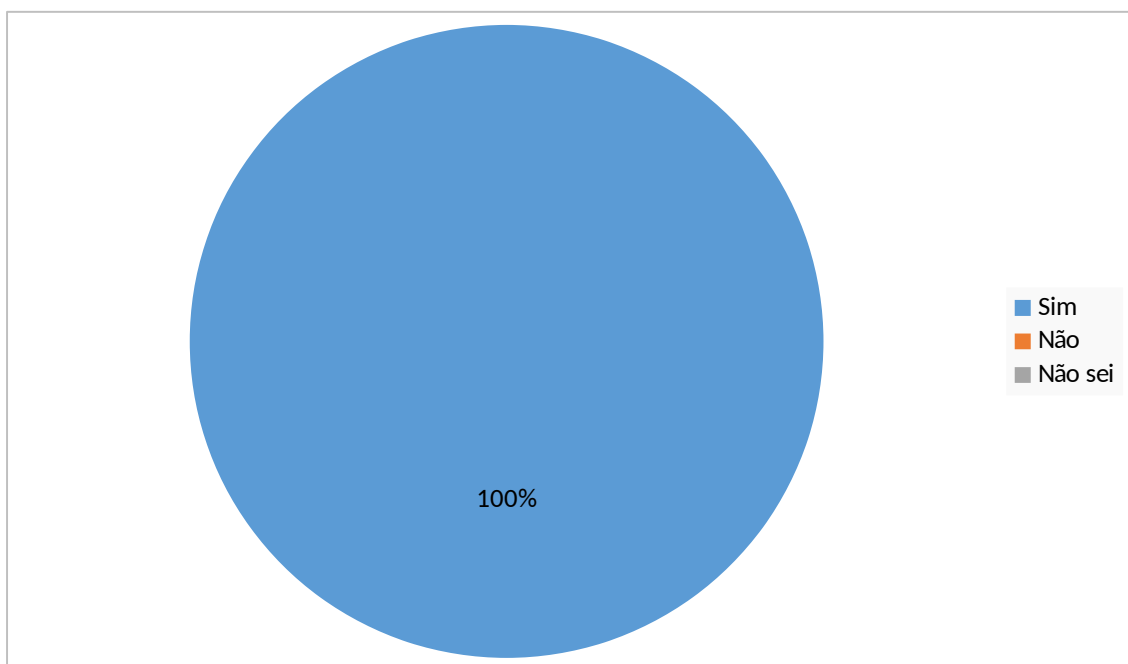


Figura 9-8: Distribuição percentual de respostas na questão 8, questionário 2.

Observamos que 100% dos alunos acreditam ser importante o estudo da ciência. Na Questão 9 obtivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Figura 9-9):

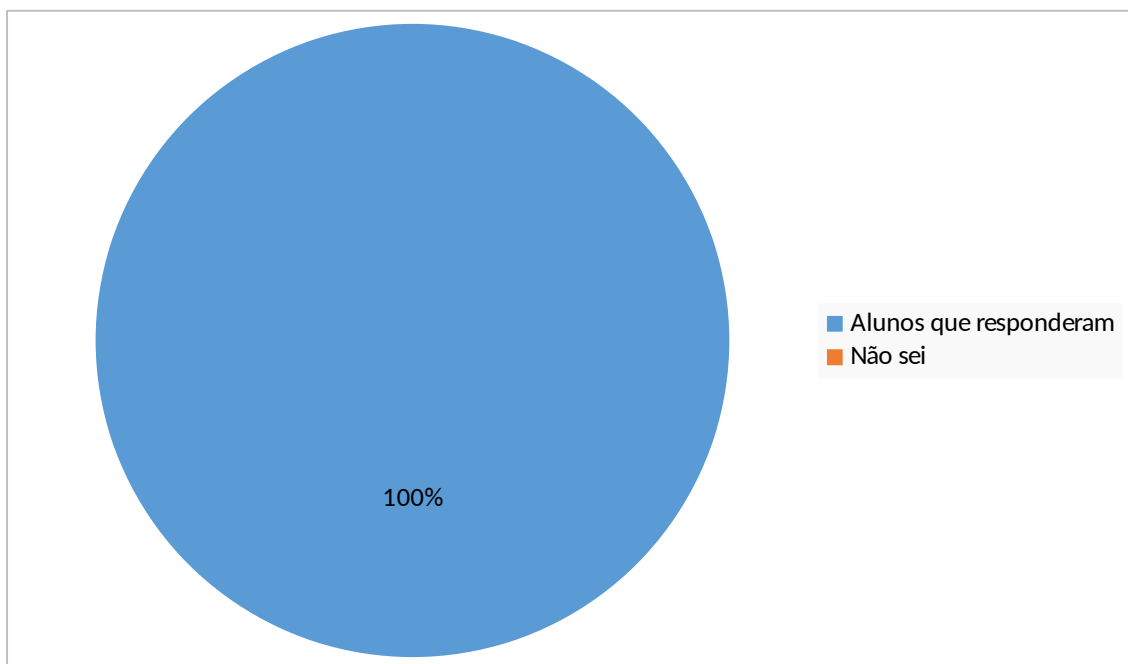


Figura 9-9: Distribuição percentual de respostas na questão 9, questionário 2.

Observamos que 100% dos alunos responderam à pergunta, e em nossa avaliação souberam dar uma resposta satisfatória para o que representa o papel da ciência, como podemos conferir no Apêndice F. Na Questão 10 obtivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Figura 9-10):

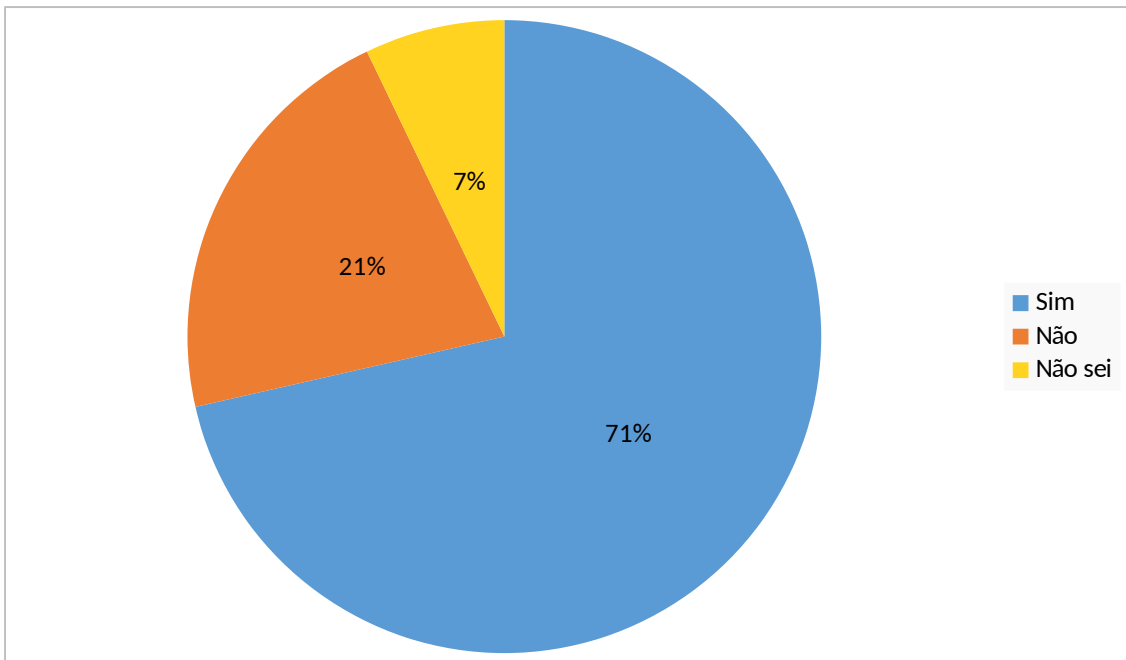


Figura 9-10: Distribuição percentual de respostas na questão 10, questionário 2.

Observamos que 71% dos alunos gostam de estudar Física. Na Questão 11 obtivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Figura 9-11):

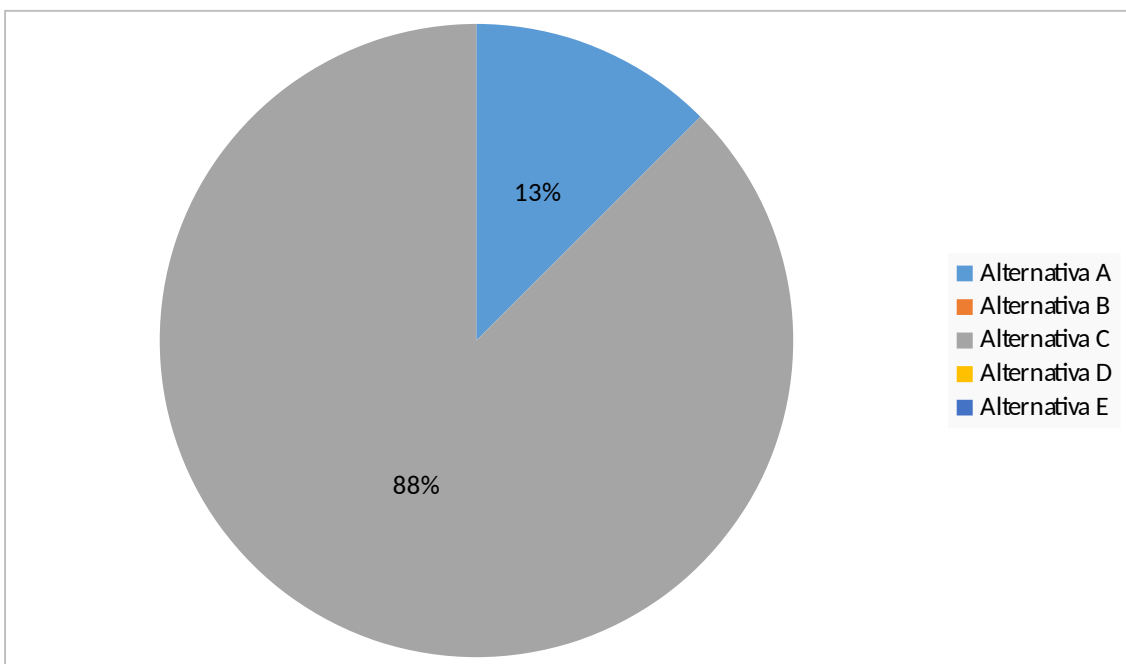


Figura 9-11: Distribuição percentual de respostas na questão 11, questionário 2.

Observamos que 88% dos alunos responderam corretamente à Questão 11, compreendendo o espaço e o tempo como relativos na visão de Einstein.

Na Questão 12 obtivemos a seguinte distribuição percentual de respostas (Figura 9-12):

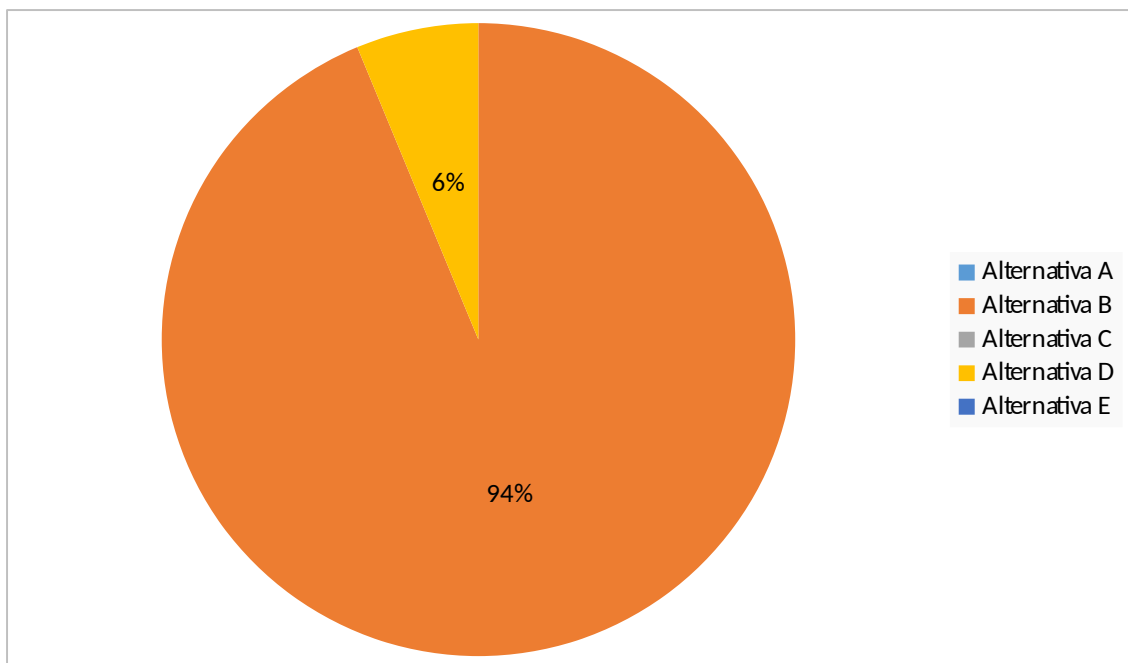


Figura 9-12: Distribuição percentual de respostas na questão 12, questionário 2.

Observamos que 94% dos alunos acertaram a questão de como a Relatividade Geral descreve a Gravitação, compreendendo-a como a curvatura do espaço-tempo.

5.4 MAPAS CONCEITUAIS

Como última atividade da aula propusemos aos alunos a elaboração de um mapa conceitual que englobasse os conceitos aprendidos durante as aulas, a construção destes mapas foi realizada em grupos, e nos traz resultados muito satisfatórios, mostrando que de fato houve aprendizagem significativa por parte dos alunos. Ao fim da elaboração dos mapas cada grupo explicou qual relação eles haviam evidenciado entre os conceitos relacionados, e novamente souberam explicar com destreza estas relações. Nas Figuras [10-1, 10-2, 10-3, 10-4] temos os mapas conceituais elaborados pelos alunos na última aula.

Mapa Conceitual

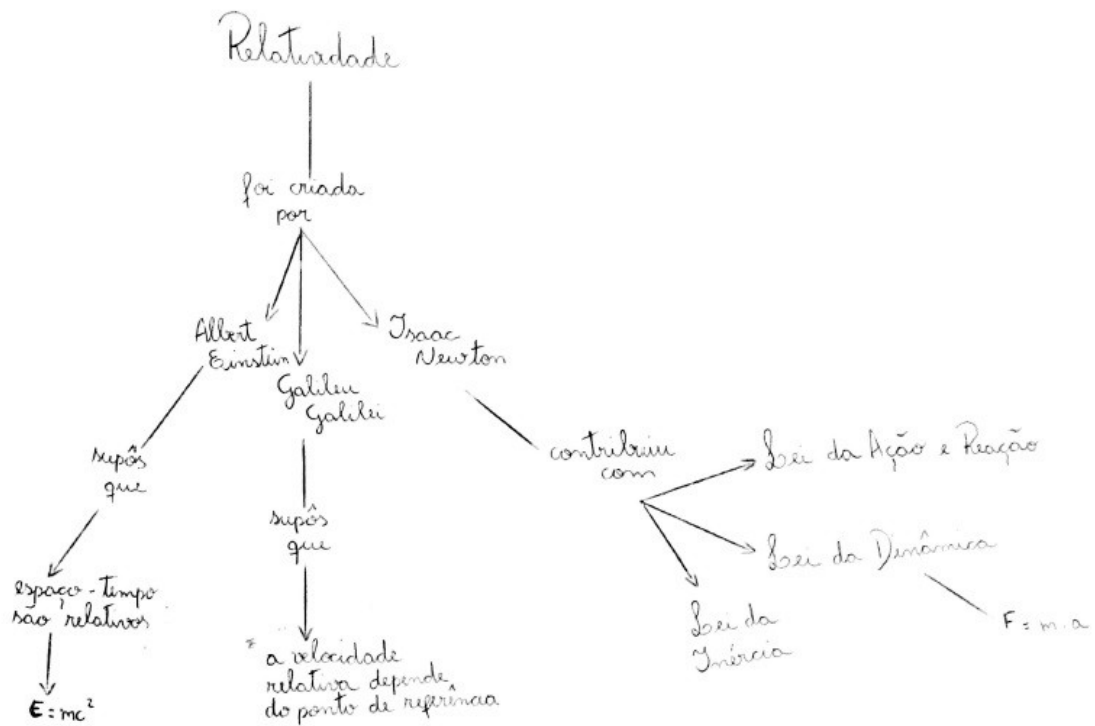


Figura 10-1: Mapa conceitual do grupo 1.

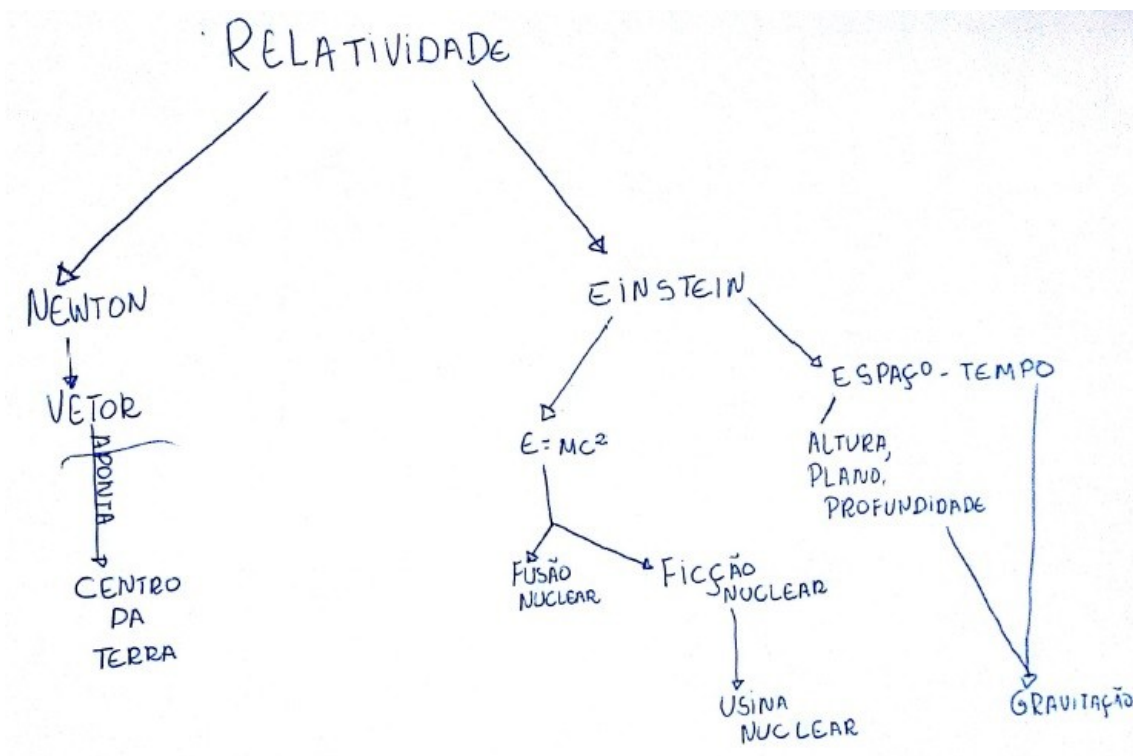


Figura 10-2: Mapa conceitual do grupo 2.

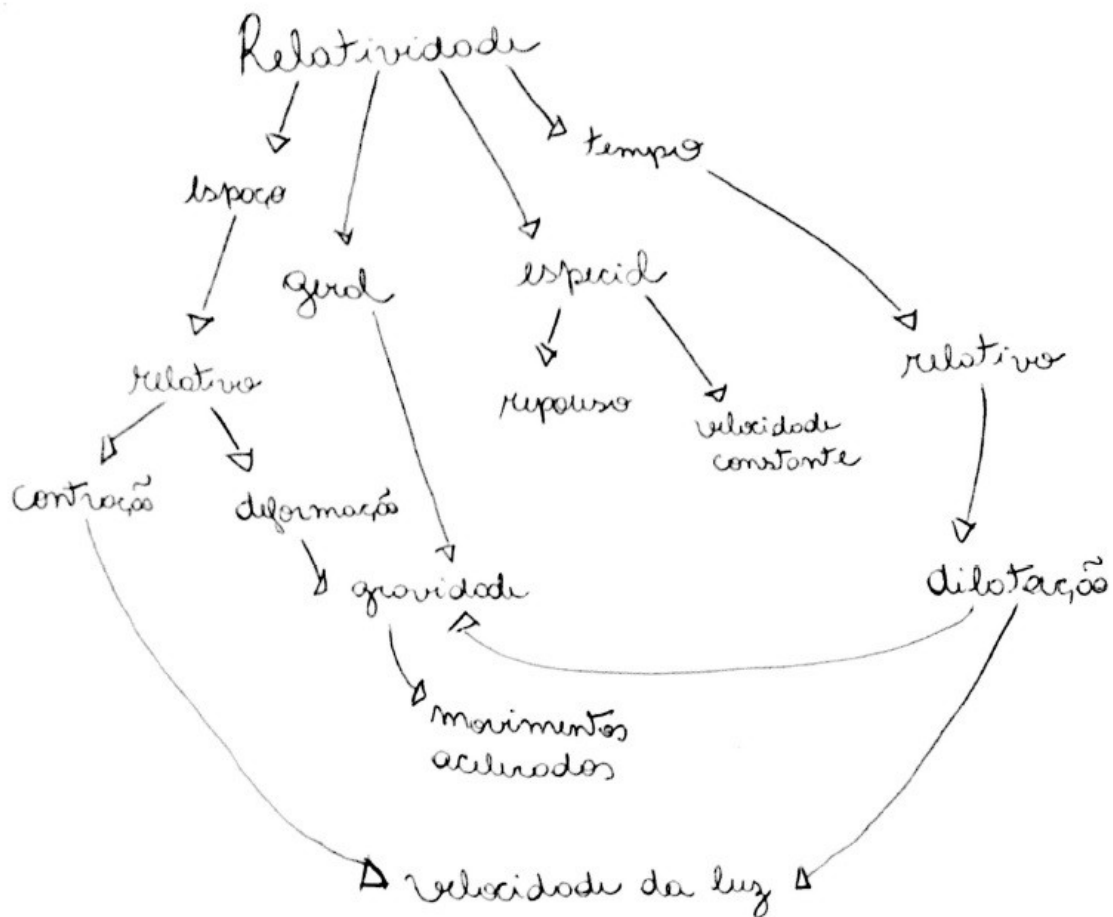


Figura 10-3: Mapa conceitual do grupo 3.

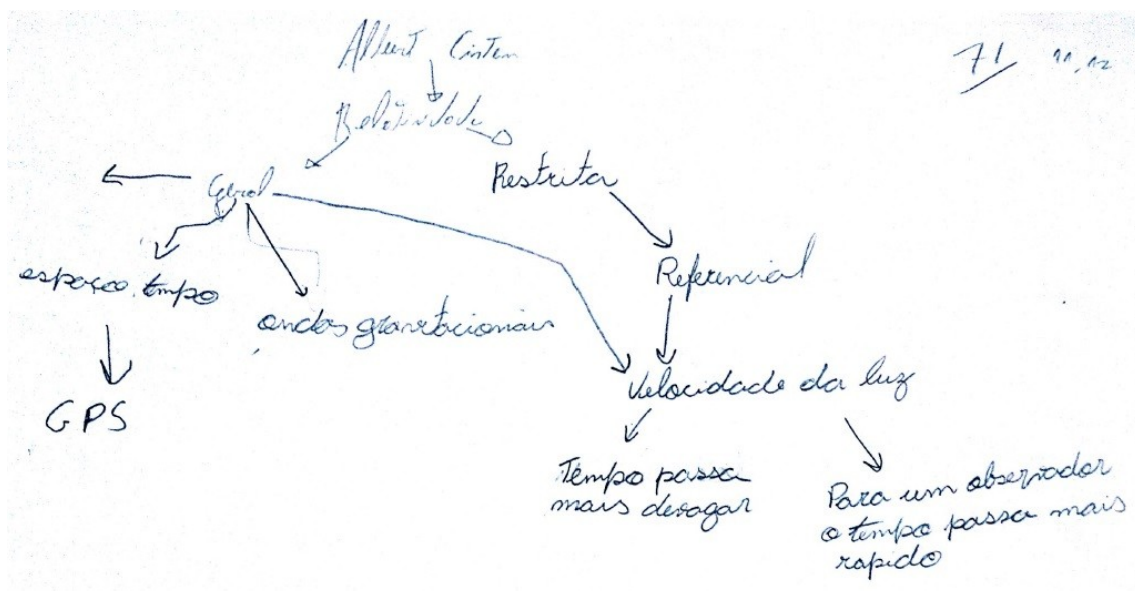


Figura 10-4: Mapa conceitual do grupo 4.

Através destes mapas fomos capazes de avaliar o conhecimento adquirido por nossos alunos e faremos esta discussão na seção de Análise.

6. ANÁLISE

Desenvolvemos nossa análise em dois segmentos: (i) análise das atividades em sala de aula e as reações dos alunos aos conceitos apresentados, e (ii) a análise dos resultados obtidos pelos questionários e mapas conceituais.

6.1 ANÁLISE DAS ATIVIDADES EM SALA DE AULA

As atividades propostas na primeira aula contaram com grande participação dos alunos. Estas atividades objetivaram de fato uma maior interação entre professor e aluno e entre os próprios alunos. As experiências realizadas em sala de aula demonstraram grande eficácia na comprovação de que os alunos ainda apresentavam pensamento aristotélico da natureza. Isso pode ser confirmado pelas respostas erradas obtidas tanto na primeira avaliação quanto na 1ª pergunta da segunda avaliação (Questionário 1).

O perfil sócio-interacionista contribuiu fortemente para uma aprendizagem construtivista e significativa, assim como a que objetivamos na seção de Fundamentação Teórica. Na atividade referente a medidas de posições onde buscamos desenvolver a competência de comunicação e representação proposta pelo PCN+, observamos uma boa destreza dos alunos ao indicarem posições de seus colegas no eixo unidimensional, e ao passar para identificação de posições no plano, os alunos, intuitivamente sugeriram a adoção de um novo eixo coordenado, demonstrando que já possuíam esquemas de assimilações estáveis. A apresentação do conceito de tempo e referencial foram apresentados harmonicamente, e sem despertar grande desconforto nos alunos. Ainda seguindo na aula 1, os conceitos de Relatividade Restrita trouxeram um pouco de desconforto, mas acreditamos que soubemos amenizá-los com explicações mais detalhadas, o que acabou por nos tomar um pouco mais de tempo. A última parte desta aula consistiu em tentarmos realizar a medida da velocidade da luz que sai de uma lanterna foi muito produtiva. Alguns alunos já conseguiram associar em um primeiro momento que um projétil lançado do piso em repouso teria uma velocidade menor (medida no referencial piso) que aquela onde o projétil era lançado de um skate em movimento, e que isto não se aplicava a luz. Repetimos a experiências algumas vezes e usamos a regra de adição de velocidades de Galileu até que todos os alunos compreendessem nosso experimento.

Apesar de alguns alunos já possuírem o conhecimento de que a velocidade da luz seria a mesma tanto medida de uma lanterna em repouso tanto de uma lanterna em movimento, não sabiam explicar o porquê, criando um ponto de problematização que viria a ser solucionado na aula seguinte.

Na segunda aula, procuramos estabelecer os conceitos e definições de espaço e tempo absolutos desenvolvidos por Galileu e Newton sobre os quais seria desenvolvida toda a Física posterior. Também realizamos uma passagem pela história do estudo da luz, entendendo-a como um fenômeno ondulatório e gerado por oscilações de campos elétricos e magnéticos, usamos o exemplo do trole ferroviário, o qual acreditamos ter sido de grande ajuda. Durante esta aula os alunos levantaram diversas dúvidas durante algumas explicações, e sempre procuramos voltar na questão explicando com um outro ângulo, na medida do possível. Neste ponto já tínhamos estabelecido para os alunos as bases do pensamento científico, mostrando a conectividade entre descobertas, que ao final contribuem para uma nova definição que esclareça um fenômeno da natureza.

Ao fim desta segunda aula, já tendo explicado o porquê de a luz apresentar sempre a mesma velocidade retornamos ao problema encontrado no fim da primeira aula, onde nos deparamos com uma velocidade da luz apresentando diferentes valores quando usamos as transformações de Galileu. Nesta parte procuramos colocar os alunos no lugar do cientista, ao ter que tomarem uma decisão muito difícil: “O que está correto: as transformações de Galileu ou o Eletromagnetismo?” Os alunos se mostraram muito pensativos, mas em grande parte assumiram uma posição favorável ao eletromagnetismo, talvez por já possuírem o conhecimento prévio a respeito, mas o que não significa que sabiam o porquê desta decisão. Trabalhamos com os alunos a ideia de que a transição da mudança no pensamento científico não é algo que sempre ocorre com perfeita unanimidade entre os cientistas.

Na terceira aula apresentamos a possível solução para o problema, solução esta apresentada por Albert Einstein. Começamos esta terceira aula com um experimento realizado com os alunos, neste experimento procuramos mostrar a falta de limitação que a mecânica de Newton demonstrava para a velocidade que um corpo é capaz de adquirir. A princípio o experimento gerou confusão nos alunos, mas ao ser refeito em mínimos detalhes trouxe a visão geral do que estava acontecendo. Acreditamos que este experimento e sua discussão contribuiu para que os alunos percebessem a necessidade de uma nova teoria que explicasse os movimentos. A próxima dificuldade encontrada pelos alunos veio em seguida ao introduzirmos o fator de Lorentz como a correção da

regra de adição de velocidades de Galileu. O fator de Lorentz foi calculado e demonstrado, não foi simplesmente apresentado. Os alunos demonstraram uma certa resistência a nova equação, mas que foi quebrado ao realizamos a análise detalhada desta nova equação e realizarmos exemplos. Nos demais tópicos apresentados nesta aula os alunos não demonstraram grandes inquietudes. Em nossa quarta e última aula introduzimos a Relatividade Geral. Os alunos se mostraram muito participativos nesta aula levantado muitas perguntas, algumas que até extrapolavam a proposta da aula. Foram levantadas dúvidas como o que aconteceria se caíssemos em um buraco negro, ou como os buracos negros são formados, e até o porquê de a matéria/energia distorcer o espaço-tempo. Mas ao fim acreditamos ter sanado todas as dúvidas dos alunos.

A fim de consolidarmos os conhecimentos adquiridos sobre Relatividade Restrita e Relatividade Geral apresentamos uma de suas aplicações mais direta para a sociedade, o GPS. Mostramos o processo de funcionamento do GPS, e qual a necessidade do uso da Relatividade para seu funcionamento. Os alunos apresentaram boa compreensão deste processo. Esta demonstração foi realizada pela demonstração matemática dos tempos diferentes de recepção e emissão de sinal nos satélites GPS, o qual só pode ser calculado precisamente com a Teoria da Relatividade, e tal precisão é extremamente necessária para a boa triangulação de sinal em solo e consequente localização na superfície da Terra.

6.2 ANÁLISE DOS QUESTIONÁRIOS E MAPAS CONCEITUAIS

Vemos na primeira avaliação que na Questão 1 os alunos optaram por apenas duas opções (B e D) descartando as opções A e C. A opção A pela lógica não poderia ser escolhida porque claramente nada foi dito no enunciado sobre a altura do mirante e em nada influenciaria a altura inicial de queda no exemplo dado. A letra C também não poderia ser escolhida porque, por mais que se leve a aerodinâmica de um objeto em consideração, claramente o tempo de queda de um corpo não depende exclusivamente de sua forma. Assim, as duas opções restantes supõe que a resposta correta seria (i) a letra B, assumindo-se um ponto de vista aristotélico da natureza - no qual se acredita erroneamente que corpos mais massivos adquirem maior velocidade ao sofrerem uma queda livre – ou (ii) a letra D, assumindo-se que todos os corpos estão sujeitos a mesma atração gravitacional com a Terra. Apesar de nitidamente a resposta D ser a correta,

62% dos alunos marcaram a letra B como sua resposta, demonstrando boa análise lógica ao descartar as opções A e C, mas demonstraram também que ainda apresentam o pensamento aristotélico sobre a natureza do movimento.

Na Questão 2 vemos que os alunos novamente apresentam um pensamento aristotélico sobre a natureza. Podemos fazer esta afirmação baseado no fato que 17 alunos indicaram como resposta as letras C e D. Ou seja, indicaram que a bola da questão proposta cairia atrás do mastro do barco em movimento, ao invés de cair exatamente no pé do mastro, esquecendo portanto que ao ser liberada a bola também tinha velocidade horizontal, pelo fato de estar no próprio barco. Se quisermos, podemos ainda supor que o único aluno que marcou a letra A como resposta correta (ou seja, o ponto P à frente do movimento do barco) pode tê-lo feito por imaginar que o barco se movimentava no sentido oposto, para direita, se aproximando do cais. Mesmo que tenha pensado corretamente nas direções, podemos ver que 18 alunos marcaram a resposta incorreta, e possivelmente porque ainda preservavam o tipo de pensamento aristotélico sobre o movimento. Apenas 8% dos alunos (31%) indicaram a resposta correta.

Em ambas as perguntas da primeira avaliação, vemos que um percentual acima de 60% marcaram respostas erradas, muito acima de um erro meramente aleatório, o que nos reforça a ideia de que inicialmente os alunos traziam à tona pensamentos e interpretações aristotélicas na análise do movimento.

Na segunda avaliação (Questionário 1) elaboramos a primeira pergunta novamente de forma a possibilitar a análise do tipo de pensamento dos alunos, e mais uma vez os alunos demonstram seu pensamento aristotélico, pois 62% dos alunos responderam que para haver movimento precisa existir força envolvida.

Através da questão 2 do Questionário 1 vemos que a maioria dos alunos não conhece a Teoria da Relatividade, provavelmente se referindo aos seus conceitos teóricos, e aproximadamente $\frac{1}{3}$ afirma conhecê-la, $\frac{1}{3}$ afirma não conhecê-la e o restante afirma não saber.

Ainda na questão 2 podemos notar que 14 alunos escreveram algo em sua resposta, sendo que alguns destes alunos haviam marcado SIM (conhecem a Teoria da relatividade) e outros marcaram NÃO. Apenas dois alunos explicaram de forma minimamente correta a visão básica sobre a teoria e os demais simplesmente se referiram a Teoria da relatividade como “o conjunto do espaço e tempo” ou que “é a teoria em que o tempo é relativo ao espaço”. Esta resposta foi recorrente em 7

questionários respondidos. Nitidamente os alunos tinham alguma noção prévia do que a teoria trata ou o que ela aborda, mas não conseguiram explicar melhor ou mais detalhadamente com palavras e apresentavam respostas curtas, sem vocabulário variado associado ao tema e geralmente abordando apenas as palavras espaço e tempo. Do total de 26 alunos que responderam o Questionário 1, 12 alunos não escreveram nada no campo de 3 linhas oferecido para complementação da resposta.

Como critério de avaliação para saber se os alunos realmente aprenderam algo sobre a Teoria da Relatividade com a metodologia proposta nesta monografia, decidimos repetir algumas perguntas do Questionário 1 no Questionário 2 (realizado ao final do curso). Quando comparamos as respostas da questão 2 em ambos os questionários, que são análogas entre si, vemos uma mudança nas respostas. Em especial, no Questionário 2 vemos respostas muito mais elaboradas, preenchendo ou excedendo todo o espaço de 3 linhas fornecido para escrever. Além disso, as respostas apresentavam maior variedade nas palavras que envolviam conceitos centrais da Teoria da Relatividade. Entre estas palavras-chave novas que aparecem nas respostas do Questionário 2 podemos citar: “curvatura”, “grandes velocidades”, “massa”, “gravidade”, “movimento”, “mecânica clássica”, “velocidade da luz”, “dilatação temporal”, “contração espacial”, sendo que todas estas palavras-chave aparecem em pelo menos dois questionários (ou mais). Apenas 2 alunos não escreveram nada no campo de 3 linhas disponíveis do Questionário 2. Por si só a questão 2 jpa mostra um forte indicativo da eficácia da metodologia proposta nesta monografia.

A questão 3 do Questionário 1 serve para avaliar se os alunos tem interesse em aprender a Teoria da Relatividade e notamos nas respostas que a esmagadora maioria (94% dos alunos) se interessa em aprendê-la. Já a questão 3 no Questionário 2 tenta avaliar a absorção de dois conceitos chave da teoria: a dilatação temporal e a contração espacial. Nesta questão 3 vemos que 73% responderam a questão de forma correta, o que contribui para uma avaliação positiva da metodologia de ensino proposta.

As questões 4 a 10 são idênticas em ambos os questionários, novamente com o objetivo de se comparar o conhecimento prévio dos alunos com o conhecimento adquirido com o curso. Na questão 4 investigamos se os alunos conhecem alguma aplicação (tecnológica ou não) para a Teoria da Relatividade. Dentre os alunos, 72% afirmaram não conhecer uma aplicação ou não sabiam responder. No entanto, mesmo entre os 28% de alunos (ou seja, 7 alunos) que afirmaram conhecer uma aplicação, apenas 2 alunos conseguiram realmente citar alguma aplicação para a teoria: “estudos

em aceleradores de partículas” e “nascimento e formação de buracos negros”. No total, 18 alunos não escreveram nada no campo disponível para complementação da resposta. Além disto, 6 alunos escreveram respostas curtas demais ou erradas, tais como “gravidade” (que não há meios de avaliar o que o aluno quis dizer) e “Relatividade Geral” (resposta que se refere à própria teoria) como aplicação da Teoria da Relatividade.

Quando comparamos estas respostas com as respostas da questão 4 do Questionário 2, vemos uma mudança no padrão de resposta, onde 100% dos alunos disseram conhecer uma aplicação da Teoria da Relatividade. Do total de 15 alunos que responderam o Questionário 2, apenas 2 alunos não citaram GPS como aplicação da teoria, e alguns ainda citaram outras aplicações, como “geração de energia nuclear” ou “estudo de ondas gravitacionais”. Vemos este resultado como extremamente satisfatório, no sentido de ressaltar outras aplicações tecnológicas positivas para a sociedade, em especial o GPS (onde a esmagadora maioria dos alunos citou esta aplicação tecnológica da teoria), a geração de energia e a melhor compreensão da realidade física que nos cerca.

Na questão 5 de ambos os Questionários 1 e 2, indagamos aos alunos o que eles lembram quando vêm a equação $E = mc^2$. Nas respostas do Questionário 1 vemos que 74% dos alunos responderam que se lembravam de “Einstein”, “equação de Einstein” ou “bomba atômica”. Novamente as respostas apresentavam pouca variação e não indicavam que os alunos soubesse que era uma equação prevista dentro da Teoria da Relatividade. Os 26% restantes afirmaram não saber o que responder. Já nas respostas da questão 5 no Questionário 2, vemos que os alunos voltaram a repetir “bomba atômica” (mas em menor número de vezes, apenas 5 vezes), continuaram a citar “Einstein” em suas respostas (7 vezes), e dois alunos citaram a própria Teoria da Relatividade como resposta. Isso indica que parte dos alunos ainda associavam essa famosa equação ao seu descobridor pois não podemos esquecer que trata-se de equação amplamente difundida, até mesmo na cultura *pop* mundial. No entanto, vemos que a associação da equação com a teoria passou a ser feita pelos alunos, como desejávamos e como não ocorrera inicialmente.

Na questão 6 dos Questionários 1 e 2 questionamos aos alunos se, no caso do Sol desaparecer, a Terra se perderia no espaço instantaneamente? Nesta questão avaliamos o conhecimento básico dos alunos sobre a interação gravitacional entre o Sol e a Terra (ou qualquer outro planeta), no sentido de tentar identificar se os alunos

dominam qualitativamente a partir da Gravitação Newtoniana que: (i) a atração gravitacional mantém os planetas ligados ao Sol e sem essa atração – devido às velocidades tangenciais dos planetas em suas órbitas – estes escapariam do Sistema Solar e, (ii) essa atração gravitacional não se dá instantaneamente. Do ponto de vista da Teoria da Relatividade, o primeiro ponto acima (ou seja, a atração gravitacional entre Sol e Terra) é na verdade a própria deformação do espaço e no segundo ponto analisamos se os alunos entendem que essa deformação se propaga com uma velocidade finita pelo espaço-tempo. Assim, no Questionário 1 esperamos que os alunos respondam a questão 6 a partir de seus conhecimentos de Mecânica Newtoniana, e no Questionário 2, que a respondam a partir de seus conhecimentos da Teoria da Relatividade a partir do que aprenderam no curso. Pela Figura 8-6, vemos que cerca de metade dos alunos (52%) responderam na questão 6 do Questionário 1 que a Terra não escaparia instantaneamente, indicando que os alunos têm noção que a propagação da interação gravitacional não se dá de forma instantânea. Já na questão 6 do Questionário 2, 73% dos alunos responderam que a Terra não se perderia no espaço instantaneamente, compreendendo que a deformação do espaço-tempo viaja no espaço a uma velocidade finita, como discutido no curso. Nitidamente percebemos um aumento significativo de quase 50% de melhora na resposta correta dos alunos.

Na questão 7 dos Questionários 1 e 2 tentamos avaliar o conhecimento dos alunos sobre grandes personalidades da Física envolvidos no processo histórico de compreensão da relatividade no movimento para se chegar à Teoria da Relatividade (Galileu, Newton e Einstein). O intuito, como dito anteriormente, era o de mostrar a Ciência como uma construção gradativa com contribuição de diversos cientistas, para ilustrar o processo do método científico. Na resposta da questão 7 no Questionário 1, vemos que 72% dos alunos responderam e apenas 28% assinalaram não saber a contribuição de cada cientista. No total 4 alunos responderam que não sabiam sobre contribuições de nenhum dos três cientistas, 1 aluno não escreveu nada, e 20 alunos responderam algo associado aos três nomes. No entanto, dentre estas últimas, 10 respostas destas continham erro em pelo menos nas contribuições de um dos cientistas em questão. Diversos alunos, ao falar sobre Newton, deram respostas como “o cara da maçã”, “maçã”. O único cientista que não ficou sem resposta foi Einstein, ao qual os alunos associaram de forma recorrente a contribuição para “Teoria da Relatividade” e “Ondas gravitacionais”. Provavelmente esta última devido ao fato de o curso ter sido ministrado algumas semanas após a divulgação na grande mídia sobre a primeira

detecção direta de ondas gravitacionais no Observatório LIGO. Já na questão 7 do Questionário 2 vemos que 100% dos alunos responderam esta pergunta e todos responderam corretamente, com uso de vocabulário mais diversificado e frases mais extensas. Mais uma vez concluímos que o curso contribuiu para a percepção da contribuição de diversos cientistas à Física e em especial à Teoria da Relatividade.

Nas questões 8 e 9 dos Questionários 1 e 2, tentamos analisar a percepção dos alunos sobre a importância e o papel da Ciência no mundo atual. Na questão 8, 95% responderam no Questionário 1 que reconhecem a importância de se estudar Ciência e no Questionário 2, 100% responderam que consideram seu estudo importante. Com percentuais tão próximos entre si, e considerando que o número de alunos que responderam ao segundo questionários foi menor em relação ao primeiro, não podemos concluir se o curso teve impacto positivo na opinião dos alunos sobre a importância do estudo de Ciências. No entanto, consideramos satisfatório que quase todos eles, mesmo antes de assistirem ao curso, já consideram importante o estudo de Ciência. Na questão 9 do Questionário 1, sobre o papel da Ciência, vemos que 88% dos alunos responderam algo, mas suas respostas em geral eram curtas e giravam em torno de “estudar a vida”, “ajudar os humanos”, “contribuir para a evolução da tecnologia”. Já na questão 9 do Questionário 2, vemos que 100% dos alunos responderam algo sobre o papel da Ciência e suas respostas eram similares às respostas originais do primeiro questionário. Novamente, devido aos altos percentuais, consideramos que não é possível mensurar o impacto do curso em suas respostas, mas novamente consideramos satisfatório que os alunos tenham apresentado tal tipo de visão sobre o papel da Ciência em geral.

Na questão 10 dos Questionários 1 e 2, indagamos se os alunos gostam de estudar Física. No primeiro questionário, 65% dos alunos responderam afirmativamente e no segundo questionário 71% responderam afirmativamente a esta pergunta. Novamente os percentuais são próximos entre si, e acreditamos que o curso serviu apenas para esclarecer e instigar mais os alunos sobre a Teoria da Relatividade, mas é muito difícil um curso de curta duração causar uma modificação tão grande no interesse de alunos e é pouco provável que o leve aumento no percentual de alunos que dizem gostar de Física se deva exclusivamente ao curso.

As questões 11 e 12 do Questionário 2 servem para averiguar o aprendizado dos alunos, assim como a questão 3 do mesmo questionário. Na questão 11 perguntamos sobre a característica do espaço e do tempo na Teoria da Relatividade de Einstein. Nesta questão, 88% dos alunos indicaram corretamente que nesta teoria o espaço e o tempo

são relativos entre si. Consideramos este resultado extremamente satisfatório e trata-se de indicativo de êxito nas explicações da teoria dentro do curso. Vale ressaltar que o restante das respostas (ou seja, 12% dos alunos) foram todas no sentido de dizer que o espaço e o tempo são absolutos na Teoria da Relatividade. Julgamos que este erro dos alunos pode se dever a falta de atenção, ao responderem algo que nitidamente está associado à gravitação newtoniana, com a qual estão mais familiarizados na escola. A questão 12 indaga aos alunos como a Relatividade Geral descreve a gravitação e 94% dos alunos responderam corretamente, indicando que esta interação fundamental se dá pela curvatura do espaço-tempo, como fora apresentado durante o curso. Além disso, o restante dos alunos (6%) responderam erroneamente que na Relatividade Geral esta interação fundamental é descrita pela Lei da Gravitação Universal. Novamente creditamos este equívoco à falta de atenção dos alunos ao ler o enunciado e ao fato de responderem algo ao qual estão mais familiarizados, que é a gravitação newtoniana. Consideramos portanto extremamente satisfatória a compreensão por parte dos alunos sobre o processo de interação gravitacional como descrito pela Relatividade Geral, ou seja, através da curvatura do espaço tempo.

Por fim terminamos a análise com a primeira questão do Questionário 2, na qual 100% dos alunos avaliaram de forma positiva o curso, considerando-o extremamente relevante para o aprendizado introdutório à Teoria da Relatividade. Com base nas respostas das demais perguntas dos Questionários, concluímos que a metodologia proposta para o ensino de Teoria da Relatividade foi extremamente exitoso, na qual se propõe uma abordagem matemática para a Relatividade Especial e abordagem conceitual para a Relatividade Geral, sempre com foco na apresentação histórica e cronológica dos fatos científicos

Os mapas conceituais desenvolvidos pelos alunos são apresentados no Capítulo 5. A conexão entre os conceitos envolvidos foi feita de forma que julgamos satisfatória, atendendo as expectativas que tínhamos com a aplicação deste método. Cada grupo foi capaz de identificar a relação que viam entre os conceitos, e nos explicaram com certa clareza cada um dos conceitos apresentados no mapa.

Podemos destacar que os mapas conceituais trazem impressões muito interessantes dos alunos sobre o conteúdo apresentado no curso. O primeiro mapa, apresentado na Figura 10-1 mostra a consciência dos alunos de que a Teoria da Relatividade foi criada com a contribuição histórica de grandes cientistas como Galileu Galilei, Isaac Newton e Albert Einstein, reforçando nossa intenção demonstrar a

colaboração entre as correntes de pensamento ao longo do tempo para a formulação de uma teoria, tal como no método científico. Na Figura 10-2 vemos o mapa conceitual do segundo grupo, que por sua vez analisou a relatividade do movimento dos corpos a partir dos pontos de vista de Newton e Einstein, os quais viam a interação gravitacional como uma distribuição vetorial (campo) em torno de objetos massivos, de acordo com o primeiro cientista e, também viam a interação gravitacional do ponto de vista da curvatura do espaço-tempo, de acordo com o segundo cientista. Como subproduto da Teoria da Relatividade de Einstein, os alunos deste grupo ainda descreveram a possibilidade de compreensão da massa de repouso das partículas e da equação $E=mc^2$, a qual está relacionada à base da compreensão da energia nuclear. Consideramos estes dois mapas conceituais extremamente satisfatórios por demonstrarem que os conceitos corretos foram adquiridos pelos alunos.

O terceiro grupo de alunos elaborou um mapa conceitual, apresentado na Figura 10-3, onde podemos ver a forma como compreenderam a Teoria da Relatividade como relacionada ao espaço e ao tempo, mesmo que sem representarem a estrutura do espaço-tempo como entidade única. Associaram que ambos são relativos e que o espaço sofre contração e o tempo sofre dilatação. Além disso, erroneamente, indicaram a deformação do espaço como causadora da gravidade, e o correto seria considerar a deformação do espaço-tempo. Mesmo assim, os alunos demonstraram através das setas que a gravidade se dá a partir da deformação do espaço e da dilatação do tempo. Mesmo que não tenham representado o espaço-tempo como entidade única, eles absorveram o conceito de que tanto o espaço quanto o tempo sofrem deformações que juntos descrevem a gravidade. Os alunos deste grupo ainda demonstraram que a Teoria da Relatividade se subdivide em Relatividade Especial e Geral, sendo a primeira relacionada a objetos em movimento com velocidade constante e a segunda relacionada a movimentos acelerados como a gravidade, exatamente como apresentado durante o curso. Isto indica novamente uma boa absorção do conteúdo na forma como fora apresentado, reforçando a ideia de que o método proposto foi exitoso e teve resultado satisfatório. Apesar disso vemos que houve pequena falha na compreensão por parte dos alunos ao vincularem a velocidade da luz à contração do espaço e dilatação da luz, uma vez que a velocidade da luz também se mantém em espaços-tempos não deformados (espaço tempo de Minkowski, por exemplo).

Por último, analisamos o quarto mapa conceitual que mostra algumas falhas conceituais. A associação da Relatividade apenas com Einstein não demonstra a visão

de que outros cientistas também contribuíram previamente para que Einstein viesse depois e formalizasse sua teoria. Não fica claro nas explicações se o nome de Einstein aparece apenas como principal ou único contribuidor para a formulação da teoria. Os alunos fazem corretamente a subdivisão da teoria entre Relatividade Especial e Geral, mas os alunos associaram o espaço-tempo apenas à segunda. Associam ainda o GPS ao espaço-tempo e não à teoria propriamente dita. Interessantemente os alunos associam a Relatividade Especial (ou Relatividade Restrita) ao conceito de referencial, da forma como o conhecem. Mais interessante, este conceito de referencial não está associado à Relatividade Geral, provavelmente por se tratar de uma interpretação da gravidade do ponto de vista geométrico, como abordado no curso. Provavelmente pela falta de bagagem matemática do aluno, ele não enxerga a relação entre geometria e referenciais, mas a associação referenciais e movimento (ou velocidade da luz) foi uma associação mais intuitiva ao grupo de alunos. Por fim os alunos discutiram que para alguns observadores que se movem a velocidade próximas à da luz, o tempo pode passar mais devagar e para outros pode passar mais rápido, demonstrando a compreensão clara da existência do conceito de tempo próprio e tempo impróprio, mesmo que esta compreensão não tenha sido demonstrada de forma perfeitamente clara. Ou seja, o aluno sabe que o tempo passará em um ritmo diferente, mas não deixa claro como se dará para cada observador: se passará mais rápido ou mais devagar para aquele que está com velocidade próxima à da luz ou para aquele que não está se movendo na velocidade da luz.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O proposto trabalho buscou descrever uma série de atividades propostas para o ensino de Relatividade no Ensino Médio, assim como analisar suas aplicações. Buscamos também realizar uma investigação a respeito do tipo de pensamento que predomina em nossos alunos, e analisar os questionários por eles preenchidos. Também objetivamos a compreensão do pensamento científico como algo mutável e fruto do trabalho e colaboração de muitos cientistas.

Neste trabalho buscamos nos apoiar em alguns aspectos de teorias de aprendizagem. Acreditamos que o conhecimento e articulação destas teorias em

conjunto nos forneceu uma ferramenta a mais para o fim que objetivamos. Nos apoiamos também no PCN+ de Física, cujo competências e habilidades foram de encontro com nossos objetivos.

Com base nos resultados coletados no último questionário aplicado e em comparação com o primeiro consideramos que nossos objetivos foram alcançados. E com base em observações em sala de aula pudemos constatar que alguns de nossos objetivos foram até extrapolados por nossos alunos, como a transição do pensamento científico, em que alguns alunos chamaram a atenção para discussões recentes da Física. Através da aplicação das atividades propostas e dos dados coletados conseguimos realizar um bom estudo inicial a respeito do ensino de Relatividade no Ensino Médio. Este estudo nos possibilitará a elaboração futura de uma apostila, assim como aperfeiçoamento dos métodos e atividades utilizados.

Este trabalho constitui um bom desafio inicial, e veio ampliar nossos conhecimentos a respeito do tema trabalho. O Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio apresenta muitas dificuldades, mas também potencialidades que podem e devem ser exploradas de acordo com a especificidade de cada caso. A pesquisa no ensino de Física constitui o elo entre a Física e a sua plena compreensão pelos alunos, e as diversas formas de se realizar esta transposição didática torna a pesquisa no ensino de Física em uma experiência enriquecedora.

8. REFERÊNCIAS

- [1] SAGAN, C. O mundo assombrado pelos demônios. Brasil: Companhia de bolso, 1995, 512 pag.
- [2] SANCHES, B. A física moderna e contemporânea no ensino médio: qual sua presença em sala de aula? 18 de dez. de 2006. 112 pag. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Maringá.
- [3] OLIVEIRA, F. O ensino de física moderna com enfoque cts. Maio de 2006. 232 pag. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [4] PIETROCOLA, Maurício, RODRIGUES, Carlos D.; Uma Análise Crítica à Abordagem da Teoria da Relatividade Restrita em Livros de Física Básica”; Anais do XII SNEF, Belo Horizonte.
- [5] TERRAZZAN, E. A.; a inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. *Cad.Cat.Ens.Fís.*, Florianópolis, v.9,n.3: p.209-214, dez.1992.
- [6] RODRIGUES, C. M.; SAUERWEIN, I. P. S.; SAUERWEIN, R. A. Uma proposta de inserção da teoria da relatividade restrita no Ensino Médio via estudo do GPS. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Rio Grande do Sul, v. 36, n. 1, p. 1401 - 1407, 2014.
- [7] BRASIL, *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio*. MEC-SEMTEC, Brasília, 2002.
- [8] BRASIL, *Lei de Diretrizes e bases da Educação*, MEC, Brasília, 1996.
- [9] OSTERMANN, F.; RICCI, T. F. Relatividade Restrita no ensino médio: os conceitos de massa relativística e de equivalência massa-energia em livros didáticos de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 21, n. 1, p. 83 - 102, 2004.
- [10] OLIVEIRA, A. N. Uma proposta para o ensino progressivo da relatividade no nível médio. 2013. Dissertação de Mestrado - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.
- [11] DELIZOICOV, J.A. Angotti e M.M. Pernambuco, *Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos* (Cortez, São Paulo, 2007).
- [12] SECRETARIA ESTADUAL DE EDUCAÇÃO. Currículo mínimo 2012. Rio de Janeiro. 2012. Pag. 11.

- [13] LIBÂNEO, J. C. Reflexividade e formação de professores: Outra oscilação do pensamento pedagógico brasileiro?, in PIMENTA, Selma Garrido, e GHEDIN, Evandro: Professor reflexivo no Brasil: gênese e crítica de um conceito. São Paulo, Cortez Editora.
- [14] CARNEIRO, A M. O que é o Cognitívismo. Psico-USF, v. 12, n. 2, p. 337-338, jan./jun. 2007.
- [15] MOREIRA, M. A. Teorias da aprendizagem. São Paulo: E. P. U, 1999.
- [16] PIAGET, J. (1971). O nascimento da inteligência na criança. Rio de Janeiro, Zahar Editores.
- [17] PIAGET, J. (1973). A epistemologia genética. Rio de Janeiro, Zahar Editores.
- [18] PIAGET, J. (1977). Psicologia da inteligência. Rio de Janeiro, Zahar Editores.
- [19] MOREIRA, A. TEORIAS DE aprendizagem. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1999.
- [20] OSTERMANN, F. Cavalcanti, C. J. H. Teorias da Aprendizagem. Instituto de Física, UFRGS. 2010.
- [21] VIGOTSKI, L. S. (2007). A formação social da mente: O desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. São Paulo: Martins Fontes.
- [22] VYGOTSKY, L.S. (1988). A formação social da mente. 2a ed. brasileira. São Paulo: Martins Fontes.
- [23] AUSUBEL, D.P. (1968) Educational Psychology: A Cognitive View. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- [24] AUSUBEL, D.P., Novak, J.D. & Hanesian, H. (1978). Educational psychology: a cognitive view. 2nd ed. New York: Holt, Rinehart and Winston. 733 p.
- [25] MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. Teorias construtivistas. Porto Alegre: UFRGS, 1999. (Textos de apoio ao professor de Física).
- [26] NOVAK, J.D. e Gowin, D.B. (1996). Aprender a aprender. Lisboa: Plátano Edições Técnicas. Tradução de Learning how to learn. (1984). Ithaca, N.Y.: Cornell University Press.
- [27] MOREIRA, M.A. (1980). Mapas conceituais como instrumentos para promover a diferenciação conceitual progressiva e a reconciliação integrativa. *Ciência e Cultura*, 32(4): 474-479.
- [28] Caruso, F.; Jorge, A.; Oguri,V. Galileu na Sala de Aula. 1ª edição. São Paulo: Livraria da Física, 2013.