

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO - UFRPE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS  
NÍVEL MESTRADO

**APRENDIZAGEM DO CONCEITO DE RELATIVIDADE DA  
SIMULTANEIDADE, ATRAVÉS DO USO DE UM APARATO  
EXPERIMENTAL.**

**Décio da Silva Melo**

**Recife**

**2008**

## FICHA CATALOGRÁFICA

M528a      Melo, Décio da Silva  
              Aprendizagem do conceito de relatividade da simultaneidade,  
              através do uso de um aparato experimental / Décio da Silva Melo.  
              -- 2008.  
              138 f. : il.

              Orientador : Ernande Barbosa da Costa  
              Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) – Universidade  
              Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Física e Matemá –  
              tica.  
              Inclui anexo, apêndice e bibliografia.

CDD 539

1. Física - ensino
2. Ciclo da experiência Kellyana
3. Relatividade da simultaneidade
  - I. Costa, Ernande Barbosa da Costa
  - II. Título

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO - UFRPE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS  
NÍVEL MESTRADO

**APRENDIZAGEM DO CONCEITO DE RELATIVIDADE DA  
SIMULTANEIDADE, ATRAVÉS DO USO DE UM APARATO  
EXPERIMENTAL.**

**Projeto de Pesquisa apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências – Nível de Mestrado, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ensino das Ciências.**

Mestrando: Décio da Silva Melo

Orientador: Ernande Barbosa da Costa, Dr.

Co-Orientadora: Heloisa Flora Brasil Nóbrega Bastos, Dr<sup>a</sup>.

Co-Orientadora: Helaine Sivini Ferreira, Dr<sup>a</sup>.

Recife  
2008

**APRENDIZAGEM DO CONCEITO DE RELATIVIDADE DA  
SIMULTANEIDADE, ATRAVÉS DO USO DE UM APARATO  
EXPERIMENTAL.**

**Décio da Silva Melo**

**Banca Examinadora:**

Presidente: \_\_\_\_\_  
Prof. Ernande Barbosa da Costa, Dr. (UFRPE)

1º Examinador: \_\_\_\_\_  
Prof. Antônio Carlos da Silva Miranda, Dr. (UNICAP)

2º Examinador: \_\_\_\_\_  
Prof. Alexandro Cardoso Tenório, Dr. (UFRPE)

3º Examinador: \_\_\_\_\_  
Prof<sup>a</sup>. Helaine Sivini Ferreira, Dra.(UFRPE)

## DEDICATÓRIA

A todos aqueles que lutam por uma educação de qualidade, mesmo diante dos obstáculos da área educacional, por sua batalha permanente no sentido de tornar o Brasil um país justo e digno.

Aos meus pais, pela existência, pois sem eles eu não estaria aqui.

Em especial, a minha filha Nayara Silva Melo.

## AGRADECIMENTOS

- A Deus, que sempre esteve presente em todos os momentos da minha vida.
- Aos meus pais, José Pedro de Melo e Maria José da Silva Melo, que através do amor e dedicação me apoiaram e me despertaram o prazer pelos estudos.
- A minha esposa Maria Betânia da Silva Melo, que com o seu amor e carinho sempre me apoiou com paciência e dedicação em toda minha caminhada.
- A minha querida e amada filha Nayara da Silva Melo, que sempre me deu prova do seu amor e paciência na conclusão deste trabalho.
- Ao Prof. Ernande Barbosa da Costa, pela paciência, serenidade e competência em sua orientação e construção do aparato experimental pois sem a sua contribuição seria praticamente impossível realizar um material experimental inédito e de fácil reprodução e também pelas valiosas horas dispensadas em discussões minuciosas.
- À Prof<sup>a</sup>. Helaine Sivini Ferreira, pela atenção, seriedade e competência na orientação deste trabalho. Pelas valiosas horas dispensadas em discussões minuciosas, que foram decisivas para a realização do mesmo.
- À Prof<sup>a</sup>. Heloisa Flora Brasil Nóbrega Bastos, por seus valiosos ensinamentos ao longo dos cursos de Graduação, Especialização e Mestrado, que me proporcionou visualizar este caminho, a percorrê-lo com amor e serenidade na construção deste trabalho.
- Aos Professores do curso de Mestrado, que favoreceram uma reflexão e mudança de postura, quanto a minha prática pedagógica.
- Ao Prof. Edílson de Araújo Gonçalves, por ter apoiado e acreditado no aparato experimental como material de apoio em suas aulas de relatividade bem como abrir o espaço em suas aulas no decorrer do curso para aplicação da intervenção

didática e nas valiosas horas em discussões minuciosas sobre o conceito de Simultaneidade.

- Aos Alunos do sexto período do Curso de Licenciatura Plena em Física da UFRPE por terem participado de toda intervenção, no qual contribuíram como elementos essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.
- Aos colegas, amigos do mestrado: Adriana, Alba, Alceu, Ana Paula, Carlos, Cláudia, Cristiana, Janaína, Dílson, Josival, Karla, Kilma, Maria das Neves, Maria do Carmo, Marieta, Mônica, Ricardo, Selma e Silvia, por todos os momentos compartilhados. Obrigado por tudo.
- À minha amiga, Prof<sup>a</sup>. Lúcia Oliveira, pelo apoio durante o processo de tradução de alguns textos em Inglês.
- À minha família, pelo amor e carinho. A segurança e tranquilidade emocional em casa foram fundamentais para que eu conseguisse realizar este trabalho.
- A todos, parentes e amigos, que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.
- À minha irmã, Prof<sup>a</sup>. Luzia de Melo Cabral, por ter me ajudado na correção dos textos.
- À minha amiga Andreza Rodrigues Campelo, pelo apoio durante o processo de tradução de alguns textos em Espanhol.

## RESUMO

A inserção da Física Moderna no Ensino Médio, com seus postulados e modelos teóricos que não podem ser diretamente vivenciados ou demonstrados, trazem dificuldades adicionais para o ensino-aprendizagem de Física. Uma alternativa viável para minimizar os problemas que daí advêm consiste na utilização de experimentos análogos à certos acontecimentos da Física Moderna. Outro problema consiste na falta de preparação dos professores formados para o Ensino Médio para atuarem no novo contexto. Assim, o objetivo deste trabalho foi investigar o processo de construção do conceito de Relatividade da Simultaneidade, através do uso de um aparato experimental, com alunos do Curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Para tanto, foi escolhida a Teoria dos Construtos Pessoais como pressuposto teórico-metodológico, e foi desenvolvido um aparato experimental, envolvendo um circuito eletrônico para controlar uma matriz de LED (Diodo Emissor de Luz), que permitisse analogias com o comportamento de um feixe de luz ao interagir com distintos obstáculos. Os resultados indicaram que o modelo experimental desenvolvido foi determinante no sentido de promover conflitos cognitivos, que levaram os alunos a reverem suas concepções iniciais e, conseqüentemente, reestruturá-las, considerando alguns aspectos, como: tempo, distância, constância da velocidade da luz e eventos que ocorrem ao mesmo tempo, essenciais para a compreensão do conceito proposto; a Relatividade da Simultaneidade.

Palavras-chaves: Ensino de Física, Relatividade da Simultaneidade,  
Ciclo da Experiência Kellyana, Aparato Experimental.

## **ABSTRACT**

The Modern Physics insertion in High School, along with its postulates and theoretical patterns that can't be practiced or demonstrated, brings additional difficulties to the Physics teaching-learning process. A feasible alternative to minimize the problems consists in carrying out experiments analogue to certain events of the Modern Physics. Another problem consists in the lack of skilled high-school graduated teachers in order to work with the new context. Therefore, the objective of this work was to investigate the construction process of the Relativity of Simultaneity, concept through the use of an experimental apparatus, with students of Physics of Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Thus, it was chosen the Personal Construct Theory as a methodological-theoretical purpose, and it was developed an experimental apparatus, involving an electronic circuit to control a LED (light-emitting diode), matrix that permits analogies with a light beam behavior interacting with different obstacles. The results showed that the developed experimental pattern was decisive concerning the promotion of cognitive conflicts, making students review their initial concepts and consequently, reorganize them, considering some aspects as: time, distance, constancy of the light speed and events that happen at the same time, which are essential to the purpose concept comprehension; The Relativity of Simultaneity.

Key-words: Physics Teaching, The Relativity of Simultaneity,  
Kellyana Cycle of Experience, Experimental Apparatus.

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	v
AGRADECIMENTOS	vi
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
SUMÁRIO	x
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE QUADROS	xiv
1. INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO GERAL.	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	17
1.4 HIPÓTESE DE TRABALHO	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 O PRINCÍPIO DA RELATIVIDADE DA SIMULTANEIDADE	18
2.1.1 O tempo é relativo	18
2.1.2 Noções de simultaneidade	19
2.1.3 A base experimental da teoria da relatividade especial	21
2.1.4 O primeiro princípio da relatividade especial.	22
2.1.5 O segundo princípio da relatividade especial	25
2.1.6 A dilatação do tempo	26
2.2 A PSICOLOGIA DOS CONSTRUTOS PESSOAIS DE GEORGE KELLY	29
2.2.1 Teoria dos Construtos Pessoais	30
2.2.2 O corolário da experiência	32

3. METODOLOGIA	36
3.1 EXPERIMENTO NA PERSPECTIVA KELLYANA	37
3.2 METODOLOGIA DA INTERVENÇÃO	38
3.2.1 Amostra	38
3.2.2 Instrumentos de coleta de dados	38
3.2.3 Estruturação da pesquisa	39
3.2.4 Estruturação da intervenção	40
3.2.5 Análise dos dados coletados	43
3.3 O APARATO EXPERIMENTAL	45
3.3.1 Funcionamento da matriz de LED	45
3.3.2 Estruturação dos blocos de circuitos eletrônicos	46
3.3.3 Processo de construção	48
3.3.4 Princípio de funcionamento	51
3.3.5 Aplicação de uma dinâmica simulando o aparato experimental	51
3.3.6 Aplicação do aparato experimental em sala de aula	55
4. RESULTADO E DISCUSSÃO	59
4.1 ANÁLISE DOS DADOS DO 1º QUESTIONÁRIO	59
4.2 ANÁLISE DOS DADOS DO QUESTIONÁRIO INTERMEDIÁRIO	71
4.3 ANÁLISE DOS DADOS DO 2º QUESTIONÁRIO	73
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
5. CONCLUSÕES	88
REFERÊNCIAS	89
APÊNDICES	91
APÊNDICE I - Questionário da fase da Antecipação	92
APÊNDICE II - Texto da fase do investimento	94
APÊNDICE III - Tabela aplicada ao grupo A	97
APÊNDICE IV - Tabela aplicada ao grupo B	98
APÊNDICE V - Questionário intermediário	99
APÊNDICE VI - Questionário da revisão construtiva	100
APÊNDICE VII - Termo de consentimento	102

APÊNDICE VIII - Normas para publicação no CBEF	103
APÊNDICE IX - Artigo	104
ANEXOS	129
ANEXO I - Materiais utilizados na construção	130
ANEXO II - Instrumentação utilizada na montagem	131
ANEXO III - As transformações de Lorentz	132
ANEXO IV - A contração de Lorentz	136

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Leitura da régua nos pontos A e B	20
Figura 02: Sistemas de referências inerciais com movimento relativo de velocidade $v$	22
Figura 03: Espaçonave de Einstein. Em (a), um observador parado enxerga um pulso de luz ser emitido, refletido pelo espelho e retornar ao ponto de emissão. Em (b), espaçonave está em movimento com velocidade $v$ . Em (c), temos um diagrama representando o percurso da luz e da espaçonave em movimento.	26
Figura 04: Dois observadores em referenciais inerciais diferentes.	28
Figura 05: Esquema cíclico que representa as cinco fases do corolário da experiência (Cloringer 1999, p. 428).	34
Figura 06: Atividades desenvolvidas segundo o Ciclo da Experiência de Kelly	40
Figura 07: Fotografia do aparato experimental	45
Figura 08: Diagrama em Bloco do Experimento	47
Figura 09: Esquema Elétrico dos Blocos 02 e 03	50
Figura 10: Dinâmica, envolvendo os alunos, acerca do comportamento do feixe de luz na “fonte luminosa”	52
Figura 11: Dinâmica, envolvendo os alunos, com relação ao comportamento do feixe de luz no primeiro (s)	53
Figura 12: Dinâmica, envolvendo os alunos, com relação ao comportamento do feixe de luz no segundo (s)	54
Figura 13: Dinâmica, envolvendo os alunos, com relação ao comportamento do feixe de luz no terceiro (s)	55
Figura 14: Fotografia do experimento com analogia da dinâmica	56
Figura 15: Ficha de didática do acendimento dos LED (grupo A)	57
Figura 16: Ficha de didática do acendimento dos LED (grupo B)	57
Figura 17: Layout da dinâmica com o grupo de alunos	58
Figura 18: Respostas apresentadas pelo aluno 3 do questionário intermediário	73

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 – Tipos de análise realizada em cada fase do Ciclo da Experiência, a partir do instrumento utilizado.	44
QUADRO 02 – Esquema do Programa de Matriz de LED	46
QUADRO 03 – Categorização das respostas referentes à questão 1	60
QUADRO 04 – Categorização das respostas referentes à questão 2	61
QUADRO 05 – Categorização das respostas referentes à questão 3	62
QUADRO 06 – Categorização das respostas referentes à questão 4	64
QUADRO 07 – Categorização das respostas referentes à questão 5	66
QUADRO 08 – Categorização das respostas referentes à questão 6	68
QUADRO 09 – Categorização das respostas referentes à questão 7	70
QUADRO 10 – Categorização das respostas referentes à questão 8	74
QUADRO 11 – Categorização das respostas referentes à questão 9	75
QUADRO 12 – Categorização das respostas referentes à questão 10	76
QUADRO 13 – Categorização das respostas referentes à questão 11	77
QUADRO 14 – Categorização das respostas referentes à questão 12	79
QUADRO 15 – Categorização das respostas referentes à questão 13	81
QUADRO 16 – Categorização das respostas referentes à questão 14	83
QUADRO 17 – Categorização das respostas referentes à questão 15	84

## 1. INTRODUÇÃO

No mundo inteiro, os conteúdos da Física, tanto nos cursos destinados aos Físicos quanto naqueles oferecidos como disciplina de serviços, há muito oferecem uma visão inadequada do quadro atual dessa área do conhecimento, de seu dinamismo e de sua abrangente inserção na ciência e na tecnologia. Tem-se, freqüentemente, a impressão de que Física é algo centrado em roldanas, planos inclinados, piões, circuitos elétricos, lentes etc. Tópicos como Relatividade e Física Quântica, que já completam um século, são classificados como Física Moderna e quase omitidos nas ementas (CHAVES, 2005).

Além disso, o ensino de Física tem se realizado freqüentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mais também por isso, vazios de significados. Privilegiando a teoria e a abstração em detrimento de atividades que partam da prática e de exemplos concretos (BRASIL, 1999).

Cientes dessa realidade é preciso discutir qual Física ensinar e como ensiná-la para possibilitar uma melhor compreensão do mundo e uma formação para a cidadania mais adequada. Não se trata, portanto, de elaborar novas listas de tópicos de conteúdo, mas, sobretudo de dar ao ensino da Física, novas dimensões (BRASIL, 1999).

Além dessas questões tem-se observado, recentemente, a introdução da Física Moderna e contemporânea no Ensino Médio, o que por um lado faz-se necessário para um melhor entendimento dos fenômenos ligados a situações vividas pelos estudantes, sejam de origem natural ou de origem tecnológica, mas, por outro implica em novas dificuldades para o Ensino de Física, uma vez que englobam aspectos da formação dos professores de Física e a forma como estes novos conteúdos serão abordados nas salas de aula.

As dificuldades para a abordagem da Física Moderna no Ensino Médio devem-se a escassa confecção de modelos e, conseqüentemente, de aparato experimental que possam auxiliar seu entendimento com o objetivo de reproduzir o comportamento dos eventos da Física Moderna.

Assim, visando contribuir com estratégias que possam vir a facilitar sua abordagem, essa pesquisa propõe investigar o processo de construção do conceito de Relatividade da Simultaneidade através de um aparato experimental. Neste caso específico, o modelo teórico representa o modelo dos trens relativísticos de Albert Einstein e refere-se aos referenciais inerciais formulados por ele. Já o aparato experimental, por sua vez, corresponde a um circuito eletrônico controlando uma matriz de LED (Diodo Emissor de Luz) contendo aspectos similares ao modelo teórico.

Nesta pesquisa, utilizou-se como base teórica a Teoria dos Construtos Pessoais – TCP de George Kelly (1963), que permite analisar como o indivíduo constrói o conhecimento. A TCP está estruturada em um Postulado Fundamental e onze Corolários, contudo neste trabalho utilizou-se apenas o Corolário da Experiência, juntamente com o Ciclo da Experiência – CEK, com suas cinco fases: Antecipação, Investimento, Encontro, Confirmação ou Desconfirmação e Revisão Construtiva. Neste sentido, esta pesquisa propõe investigar em diversas fases do Ciclo da Experiência como as idéias sobre o conceito de Relatividade da Simultaneidade, são alteradas visando uma maior aproximação do conceito científico desejado.

## **1.1 OBJETIVO GERAL**

Investigar o processo de aprendizagem do conceito de Relatividade da Simultaneidade de Licenciandos de Física da UFRPE, através do uso de um aparato experimental.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Estruturar um aparato experimental que permita uma abordagem diferenciada do conceito de Relatividade da Simultaneidade;

Investigar, com alunos do Curso de Licenciatura Plena em Física, como o aparato experimental desenvolvido auxilia na compreensão do conceito proposto;

Identificar as principais dificuldades enfrentadas pelos alunos na construção do conceito de Relatividade da Simultaneidade.

### **1.3 PROBLEMA DE PESQUISA**

Como um aparato experimental contribui para o entendimento do conceito da Relatividade da Simultaneidade, isto é, de que dois ou mais eventos são simultâneos em um referencial e não são simultâneos em nenhum outro referencial inercial em repouso?

### **1.4 HIPÓTESE DO TRABALHO**

A introdução, na prática pedagógica, de um aparato experimental de fácil manipulação, melhora os processos de aprendizagem e facilita a compreensão do conceito de Relatividade da Simultaneidade pelos alunos.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 O PRINCÍPIO DA RELATIVIDADE DA SIMULTANEIDADE**

A Relatividade do tempo é um conceito de apreensão mais difícil. O universo de Newton pressupunha que um tempo absoluto era marcado por um relógio universal invisível. Se fosse 1:02 na Terra, seria 1:02 em Vênus, Marte ou em qualquer outro lugar do universo. Einstein nos mostrou que isso não é verdade. Um dos exemplos que usou para ilustrar suas novas idéias envolve eventos simultâneos. No universo de Newton, era possível afirmar que dois eventos ocorriam simultaneamente porque o tempo absoluto estava sendo medido pelo relógio universal. Einstein nos revelou que essa idéia de tempo absoluto e de eventos simultâneos produz um paradoxo. Se a velocidade da luz for absoluta (constante) sob todas as condições, há algo errado com o conceito newtoniano. (BRENNAN, 2000).

Como este conceito é um pouquinho complicado, veremos a seguir no item 2.1.6 em exemplo mais comum para explicar por analogia o conceito de Relatividade da Simultaneidade.

#### **2.1.1 O tempo é relativo**

À primeira vista, pode parecer que estamos tratando de uma contradição puramente lógica. A constância da velocidade da luz, em todas as direções, é uma prova cabal do Princípio da Relatividade. Ao mesmo tempo, a velocidade da luz é, em si, absoluta (MOSCATI, 2004).

Relembremos, entretanto, como o homem medieval considerou a esfericidade da Terra. Para ele, a esfericidade da Terra entrava em conflito com a força da gravidade, pois ele pensava que todos objetos deveriam cair da superfície da Terra. Sabemos hoje muito bem, entretanto, que não há conflito lógico. Simplesmente, os conceitos de subir e descer são relativos, e não absolutos (MOSCATI, 2004).

O mesmo aplica-se à propagação da luz. Teria sido fútil procurar uma contradição lógica entre o princípio da relatividade do movimento, e o fato de a velocidade da luz ser absoluta. A contradição surge quando introduzimos outras hipóteses, da mesma forma que os homens da idade média fizeram, quando os conceitos de subir e de descer como sendo absoluto (MOSCATI, 2004).

Esta crença absurda provinha da falta de conhecimento: as pessoas viajam pouco nessa época, e conheciam apenas uma pequena parte da superfície da terra. Evidentemente, passou-se um fato semelhante conosco: nossa falta de experiência nos fez julgar algo relativo, como absoluto (MOSCATI, 2004).

O motivo da inconsistência das noções clássicas do espaço e de tempo é a suposição incorreta sobre a possibilidade de transmissão instantânea de interação e de sinais de um ponto do espaço para outro. A existência de um limite finito da velocidade de transmissão de interação torna necessária uma mudança profunda das opções habituais de espaço e de tempo, baseadas na experiência cotidiana. O conceito de tempo absoluto, que decorre a um ritmo estabelecido de uma vez para sempre, independentemente da matéria e do tempo, revelou-se incorreto.

### **2.1.2 Noções de simultaneidade**

Na mecânica clássica, a simultaneidade é fundamentada por seu significado absoluto nas transmissões instantâneas. De fato, a medida do comprimento de uma barra de extensão AB figura 01 se obtém colocando-a ao longo de uma régua graduada, quando então se registram as graduações da régua que coincidem com as extremidades A e B (MOURÃO, 1997).

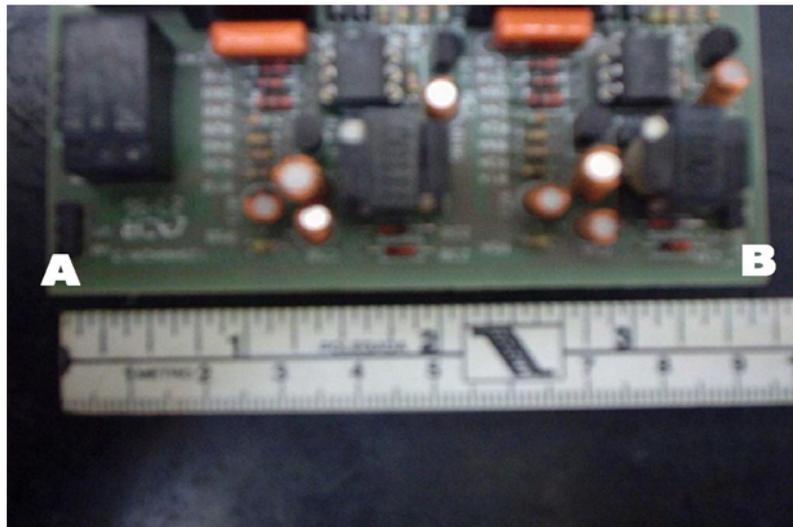


Figura 01: Leitura da régua nos pontos A e B

Se a barra estiver em repouso, não teremos nenhuma dificuldade. Todavia, se a barra ou a régua estivessem se deslocando, paralelamente uma em relação à outra, a medida só seria possível se as coincidências registradas em A e B entre a régua e a barra fosse simultânea (MOURÃO, 1997).

Para realizar medições em tais circunstâncias, procura-se fotografar a barra e a régua graduada num mesmo fotograma. Ao agir desse modo, o físico supunha que a exposição fotográfica era instantânea, o que é uma ilusão que vai depender da velocidade da barra em relação à régua e da própria velocidade da luz (MOURÃO, 1997).

Como a luz não se propaga instantaneamente, os raios luminosos que saem de A e B irão impressionar a emulsão fotográfica em momentos diferentes. Isso significa que todas as medidas físicas serão relativas, pois elas vão depender das velocidades da luz. Foi essa contradição entre medidas ultraprecisas em objetos animados de velocidade elevada que deu origem as ponderações que conduziram Einstein à Relatividade Restrita (MOURÃO, 1997).

### 2.1.3 A base experimental da teoria da relatividade especial

Para enviar um sinal através do vácuo, de um ponto a outro, tão rápido quanto possível, usamos um feixe de luz ou alguma outra radiação eletromagnética, tal como uma onda de rádio. *Até o momento não foi descoberto um método mais veloz para enviar um sinal.* Este fato experimental sugere que a velocidade da luz no vácuo,  $c = (3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s})$  (RESNICK, 1971).

No mundo macroscópico de nossas experiências comuns, a velocidade ( $u$ ) de objetos em movimento ou ondas mecânicas em relação a qualquer observador é sempre menor do que  $c$ . É esse meio macroscópico, sempre presente, porém limitado, que as nossas idéias sobre o espaço e o tempo são primeiramente formuladas, e no qual Newton desenvolveu seu sistema de Mecânica (RESNICK, 1971).

No mundo microscópico é sempre possível encontrar partículas, cuja velocidade são bastante próxima à da luz. De fato, a experiência mostra que a Mecânica Newtoniana não prevê as respostas precisas, quando é aplicada a tais partículas rápidas. Portanto, não importa quão bem a Mecânica Newtoniana possa funcionar às baixas velocidades, ela falha clamorosamente quando  $\frac{u}{c} \cong 1$  (RESNICK, 1971).

A conexão entre a Mecânica e o Eletromagnetismo não é surpreendente, porque a luz, que desempenha um papel básico na efetuação das medidas fundamentais de espaço e tempo, que formam a base da Mecânica, é um fenômeno eletromagnético. Todavia, o nosso meio Newtoniano de baixa velocidade é tão parte de nossa vida cotidiana que quase qualquer pessoa tem alguma dificuldade conceitual em entender as idéias de Einstein do espaço-tempo, quando as estuda pela primeira vez (RESNICK, 1971).

### 2.1.4 O primeiro princípio da relatividade especial

Ao formular o primeiro princípio Einstein o fez do modo seguinte:

... se  $S'$  é um sistema de coordenadas que efetua um movimento uniforme e sem rotação em relação a  $S$ , os fenômenos da natureza que se desenrolam em relação a  $S'$  obedecem exatamente às mesmas leis que em relação a  $S$ . Chamamos este enunciado de “Princípio da Relatividade” (no sentido restrito) (EINSTEIN, 1958).

Neste ponto é interessante comentar acerca de referencial tal como concebido por Einstein.

Introduzimos, em lugar de “de corpo de referência o conceito de “sistema de coordenadas”, que é mais vantajoso para a descrição matemática...” (EINSTEIN, 1958).

É importante destacar que o sistema de coordenadas definido por Einstein é o espaço-tempo  $(x,y,z,t)$  para  $S$  e  $(x',y',z',t')$  é para  $S'$ , que é ilustrado a seguir:

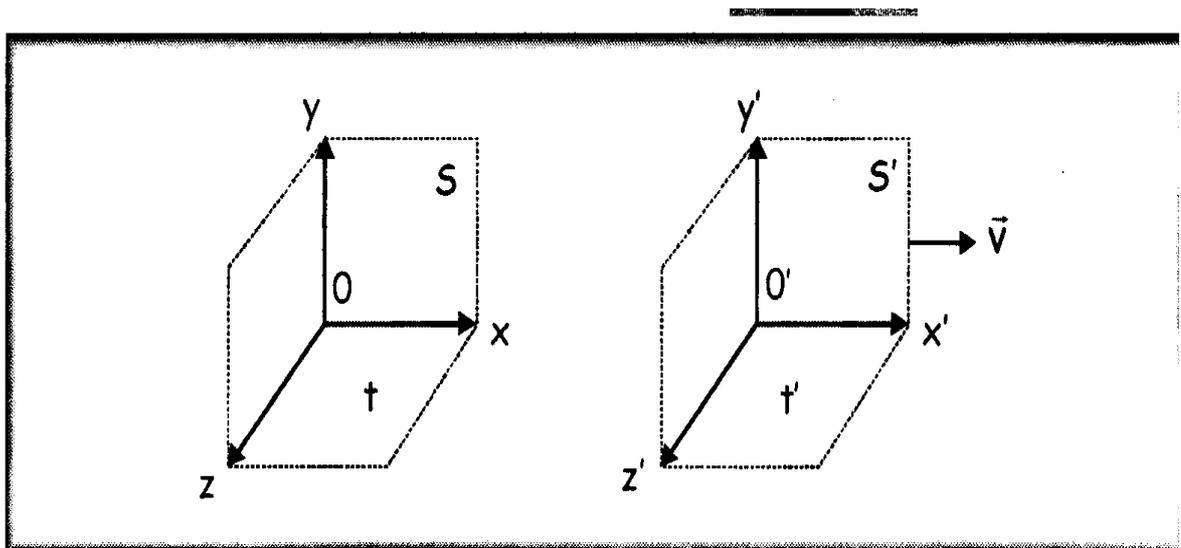


Figura 02: Sistemas de referências inerciais com movimento relativo de velocidade  $v$

Antes existia uma compreensão que as leis de Galileu-Newton eram invariante quando sujeitas à transformação de Galileu para sistemas inerciais. Porém, com o

desenvolvimento do Eletromagnetismo, ficou claro que o mesmo não ocorria para essa parte da Física.

Segundo Galileu um sistema inercial era considerado um sistema de referencia, no qual vale a lei da inércia. (primeira lei de Newton). Em tal sistema, o qual podemos também descrever como sendo um sistema não acelerado, um corpo sobre o qual atua uma força externa total nula, mover-se-á com velocidade constante (RESNICK, 1968).

Consideremos agora um sistema inercial S e um outro sistema inercial S', que se move com uma velocidade constante v em relação a S, como mostra na figura 02. Por conveniência, nos escolhemos os três conjuntos de eixos como sendo paralelos entre si, e permitindo que o seu movimento relativo seja ao longo do eixo comum X e X'. Mais tarde podemos generalizar facilmente à velocidade relativa e orientações arbitrárias dos sistemas; mas, os princípios físicos envolvidos não são afetados pela simples escolha particular, que fazemos presentemente. Note, também, que podemos considerar igualmente S se movendo com velocidade -v em relação a S', assim como podemos considerar S' se movendo com velocidade v em relação a S (RESNICK, 1968).

Com a intuição da Física Clássica, supõe-se que o tempo pode ser definido independentemente de qualquer sistema particular de referência. Isto é uma suposição implícita da Física Clássica, que é expressa nas equações de transformação pela ausência de uma transformação para t. Nós podemos tornar explícita esta suposição, da natureza universal do tempo, acrescentando às transformações Galileanas a equação (RESNICK, 1968):

$$T = T'$$

Logo podemos supor que à distância, ou intervalo espacial entre dois pontos, digamos A e B, medida num dado instante é a mesma para cada observador, isto é:

$$X'_B - X'_A = X_B - X_A$$

Embora Einstein tenha formulado o 1º princípio da relatividade como descrito acima, figura 02 alguns autores usam uma linguagem diferente. Para esclarecer melhor, apresentaremos dois exemplos: o primeiro, enunciado num livro do Ensino Médio e o segundo, num livro de ensino superior.

Exemplo 1: “As leis da Física são as mesmas para todos os observadores em quaisquer

sistemas de referencia inerciais” (GASPAR, 2000).

Exemplo 2: “Não se pode perceber o movimento absoluto” (TIPLER, 1995).

Acerca dessas duas maneiras de enunciar o primeiro postulado, é possível compreender que no enunciado do exemplo 1 fica mais fácil para o aluno de Ensino Médio entender o significado do postulado já que o mesmo se refere a um aspecto mais geral da Física, isto é, suas leis. Enquanto o segundo refere-se apenas ao movimento, isso pode levar ao aluno a idéia de que somente se aplica à mecânica.

O próprio Einstein estava tão convicto do primeiro princípio, que chegou ao argumento seguinte:

... se o principio da relatividade (no sentido restrito) não for válida, então os sistemas de coordenadas Galileanos  $S, S', S''$  etc., em movimento relativo uniforme uns em relação aos outros, não serão equivalentes para a descrição dos fenômenos da natureza. Neste caso, seríamos praticamente forçados a imaginar que as leis da natureza só poderiam ser formuladas de maneira particularmente simples e natural se, entre todos os sistemas de coordenadas galileanos, escolhêssemos como corpo de referencia um sistema (S) animado de determinado movimento. Com razão, consideraríamos este sistema “em repouso absoluto” ao passo que todos os outros sistemas galileanos S seriam considerados com “em movimento” (EINSTEIN, 1958).

### 2.1.5 O segundo principio da relatividade especial

“Qualquer raio de luz move-se no sistema de coordenadas (em repouso) com uma velocidade determinada  $V$ , que é a mesma, que esse raio seja emitido por um corpo em repouso, quer o seja por um corpo em movimento” (EINSTEIN, 1958).

Embora no enunciado acima Einstein tenha se referido à velocidade da luz como  $v$ , hoje é consensual o uso de  $(c)$ . quando se trata do vácuo, sendo seu valor igual a  $3.10^8$  m/s.

É oportuno lembrar que essa grandeza é a única tida como absoluta nessa teoria.

De modo análogo ao que fizemos com o primeiro postulado, apresentaremos dois exemplos de enunciado para o segundo postulado:

Exemplo 1: “A velocidade da luz no vácuo é uma constante universal. É a mesma em todos os sistemas inerciais de referencia. Não depende do movimento da fonte de luz e tem igual valor em todas as direções” (RAMALHO, 2003).

Exemplo 2: “A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor e em todos sistemas inerciais (O principio da constância da velocidade da luz)” (RESNICK, 1968). Nos dois exemplos dados acima está bastante clara para Einstein a constância da velocidade da luz.

Para Resnick (1968), a teoria da Relatividade especial que reduzida desse postulado deve-se a genialidade de Albert Einstein. Ressalta que o sucesso da mesma pelas previsões obtidas em diversos experimentos, todos confirmados depois de 1905.

### 2.1.6 A dilatação do tempo

O conceito de eventos também é modificado pela introdução do tempo relativo.

Imagine um feixe de luz viajando do ponto A e B, simultaneamente, até um espelho, onde será refletido de volta.

A distância de A e B, até o ponto de reflexão D

$$D = v \cdot t = c \cdot t, \text{ onde } c = \text{velocidade da luz}$$

Se o ponto B mover-se com velocidade  $v$  para a direita, ele irá percorrer um caminho mais longo. Como podemos relacionar o tempo para o feixe B chegar ao espelho e o tempo do feixe A figura 03 (PEREIRA, 2003)

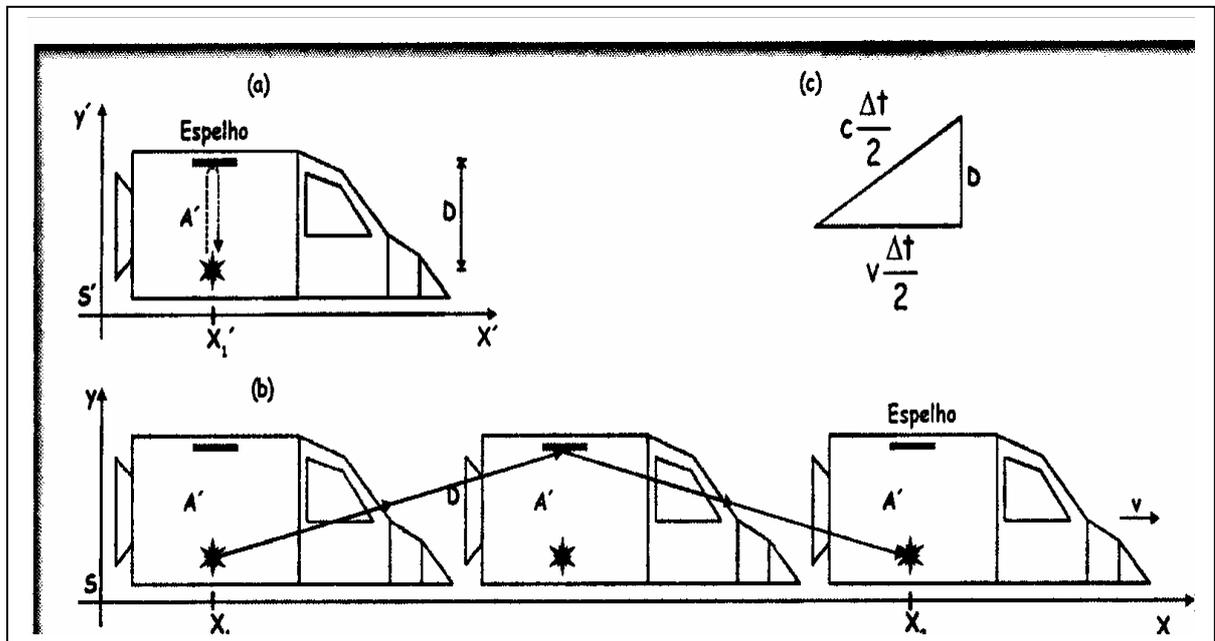


Figura 03: Espaçonave de Einstein. Em (a), um observador parado enxerga um pulso de luz ser emitido, refletido pelo espelho e retornar ao ponto de emissão. Em (b), espaçonave está em movimento com velocidade  $v$ . Em (c), temos um diagrama representando o percurso da luz e da espaçonave em movimento.

Esta nova distância será  $D' = c' \cdot t'$

A distância percorrida pelo ponto B será  $X = v \cdot t'$  e sabemos que  $D = c \cdot t$

Como temos um triângulo retângulo, vale o Teorema de Pitágoras:

$$(c' \cdot t')^2 = (v \cdot t')^2 + (c \cdot t)^2, \text{ como } c' = c \text{ (invariância da velocidade da luz)}$$

$$\text{Temos: } (c' \cdot t')^2 = (v \cdot t')^2 + (c \cdot t)^2 \Rightarrow (c^2 - v^2) \cdot t'^2 = c^2 \cdot t^2$$

$$\text{Portanto } t' = \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \cdot t$$

O que significa que o tempo transcorrido no referencial em movimento, em relação ao referencial em repouso é maior. Ocorre uma dilatação do tempo para o referencial em repouso. Einstein interpretou este acontecimento como uma mostra de que o espaço não pode ter dimensões apenas espaciais, mas também temporal. Os fenômenos interferem não só na posição como também no tempo intrínseco de cada ponto, o que o levou a crer que o espaço tenha 4 dimensões; comprimento (x), largura (y), altura (z) e tempo (t) e não só 3 como usualmente o interpretamos (PEREIRA, 2003).

Para a compreensão do conceito de Relatividade da Simultaneidade, optamos pela abordagem através da observação de uma imagem figura 04, na qual dois indivíduos estão jogando maçãs dentro de dois trens distintos, onde um encontra-se em movimento e o outro em repouso, contudo todos os dois casos os indivíduos encontram-se em referenciais inerciais, como veremos mais a frente.

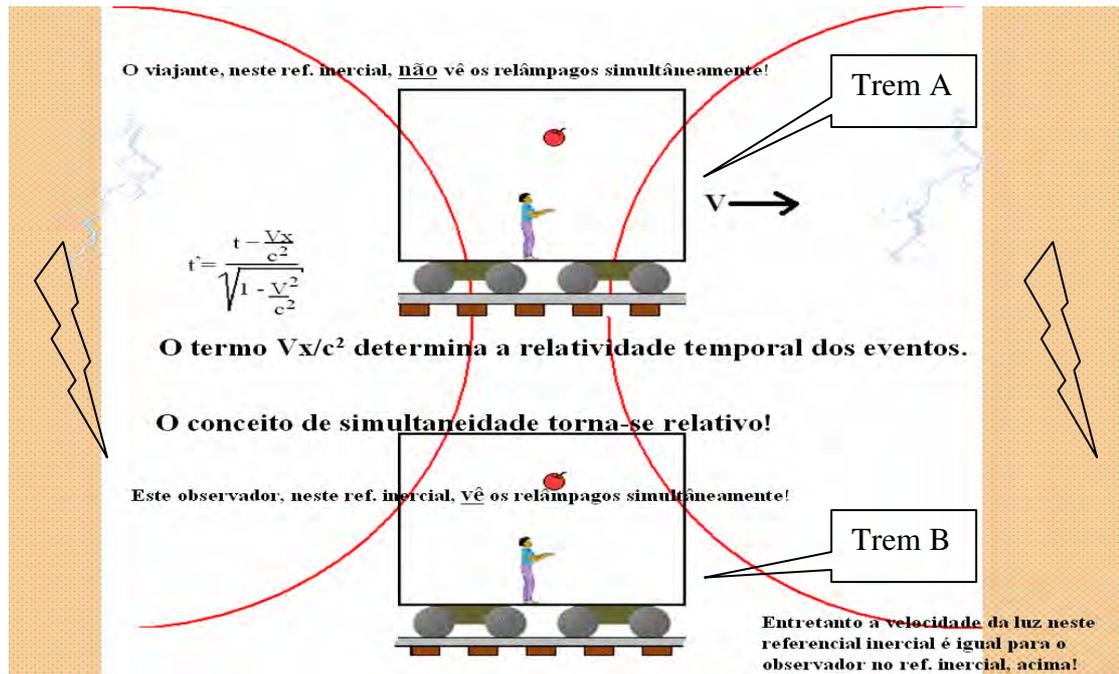


Figura 04: Dois observadores em referenciais inerciais diferentes.

Inicialmente, se faz necessário entender o que é um sistema inercial ou referencial inercial. É um sistema de referência em que corpos livres (sem forças aplicadas) não têm o seu estado de movimento alterado, ou seja: corpos livres não sofrem acelerações quando não há forças sendo exercidas. Tais sistemas ou estão parados (velocidade = 0) como no exemplo do trem B ou em movimento retilíneo uniforme uns em relação aos outros como no exemplo do trem A.

Considerando que os relógios dos dois observadores inerciais estão sincronizados, podemos considerar que os eventos (relâmpagos) que ocorrem em dois lugares diferentes e ao mesmo instante de tempo, neste sistema, devem ser chamados de simultâneos, quando os relógios nos respectivos lugares registram o mesmo tempo para eles. Serão esses mesmos eventos medidos como simultâneos por um observador em outro sistema inercial, do contrário, a simultaneidade não é independente do sistema de referencia usando para descrever os eventos. Ao invés de ser absoluto, a simultaneidade seria um conceito relativo, no qual isso é verdadeiro e leva a contradição direta a suposição da Física Clássica (RESNICK, 1971).

Para que possamos entender isso melhor, consideremos os trens da figura 04 estando em dois sistemas inerciais de referencia S e S', ou seja o primeiro está parado e o

segundo com velocidade constante próxima a  $c$  (velocidade da luz no vácuo), cada sistema tem o seu próprio metro e relógio sincronizado.

Os observadores dos referidos trens A e B notam que duas faíscas de relâmpagos propagam-se com velocidade constante conforme figura 04 e este está a uma mesma distancia entre os relâmpagos, mas neste momento o observador B encontra-se parado e este relata que os sinais luminosos dos relâmpagos chegam simultaneamente, mas em contra partida se observamos o observador A este está se deslocando com velocidade constante ou seja no sistema de referencia  $S'$ , logo que este relata os eventos dos relâmpagos dirá que o relâmpago da direita chegará primeiro que o da esquerda uma vez que este está se deslocando com velocidade próxima a da luz no sentido da esquerda para a direita.

Portanto chegamos a conclusão de que dois eventos separados, que são simultâneos com respeito a um sistema de referencia, não são necessariamente simultâneos em relação a nenhum outro sistema.

Nós podíamos ter suposto, da mesma maneira, que as faíscas dos relâmpagos incidam de tal modo que o observador do sistema  $S'$ , achou que elas eram simultâneas, fixando os relâmpagos na extremidade do trem do observador A ou seja tanto o trem A como os relâmpagos pertencem ao mesmo sistema de referencia  $S'$ . Neste caso os sinais luminosos atingem simultaneamente o observador A ao invés do B. Portanto, nenhum dos sistemas é preferido e a situação é perfeitamente recíproca. A simultaneidade é genuinamente um conceito relativo, e não absoluto (RESNICK, 1971).

## **2.2 A PSICOLOGIA DOS CONSTRUTOS PESSOAIS DE GEORGE KELLY**

É importante ressaltar que ao tratarmos da psicologia dos construtos pessoais de George Kelly, existem trabalhos orientados nessa linha, destacado desde da biografia até a construção de sua teoria, publicados por universidades brasileiras, com destaque para o Departamento de Educação da Universidade Federal Rural de Pernambuco, sendo possível citar os trabalhos de Bezerra (2005), e mais recentemente Medeiros (2005).

### 2.2.1 Teoria dos Construtos Pessoais

A Teoria dos Construtos Pessoais difere de outras teorias psicológicas por focalizar a personalidade individual e seus processos cognitivos, considerando desnecessária a postulação de fatores motivacionais ou impulsionadores que dessem sentido aos atos do indivíduo. Para Kelly a pessoa já é naturalmente ativa e tem suas ações direcionadas pelas sucessivas tentativas de antecipar satisfatoriamente os acontecimentos dos quais participa diariamente. A proposta de Kelly era promover uma abordagem conjunta de fatores comumente analisados de forma isolada, como fatores cognitivos, motivacionais e emocionais (CLONINGER, 1999).

No segundo capítulo de sua obra (1963, p. 46-104), Kelly estrutura sua Teoria dos Construtos Pessoais (TCP) baseado num postulado fundamental, que fornece o embasamento para onze corolários que abordam diversos pontos relacionados aos processos psicológicos individuais. Em cada um destes tópicos, Kelly comenta suas propostas e desenvolve suas idéias sobre a construção da personalidade do indivíduo. O postulado fundamental da TCP é transcrito a seguir (KELLY, 1963, p. 46, tradução livre):

“Os processos de uma pessoa são psicologicamente canalizados pelas maneiras a partir das quais ela antecipa eventos.”

E os onze corolários propostos por Kelly (1963, p.103-104, tradução livre) são apresentados a seguir:

- “ 1.*Corolário da Construção*: Uma pessoa antecipa eventos construindo réplicas destes;
- 2.*Corolário da Individualidade*: As pessoas diferem umas das outras por suas construções de eventos;
- 3.*Corolário da Organização*: Cada pessoa desenvolve caracteristicamente, e de forma conveniente à sua antecipação de eventos, um sistema de construção envolvendo relações ordinais entre os construtos;

4. *Corolário da Dicotomia*: O sistema de construção de uma pessoa é composto de um número finito de construtos dicotômicos;
5. *Corolário da Escolha*: Uma pessoa escolhe a alternativa, em um construto dicotomizado, através da qual ela antecipa a maior possibilidade de extensão e definição de seu sistema;
6. *Corolário da Faixa (ou do Intervalo)*: Um construto é conveniente para a antecipação de um intervalo finito de eventos apenas;
7. *Corolário da Experiência*: O sistema de construção de uma pessoa varia conforme ela constrói sucessivamente as réplicas dos eventos;
8. *Corolário da Modulação*: A variação do sistema de construção de uma pessoa é limitada pela permeabilidade dos construtos em cujos intervalos de conveniência localizam-se as variantes;
9. *Corolário da Fragmentação*: Uma pessoa pode empregar sucessivamente vários subsistemas de construção que são inferencialmente incompatíveis entre si;
10. *Corolário da Comunalidade*: À medida que uma pessoa emprega uma construção de experiência semelhante àquela empregada por outra pessoa, seus processos psicológicos são semelhantes aos processos da outra pessoa:
11. *Corolário da Sociabilidade*: À medida que uma pessoa interpreta os processos de construção de outra, ela pode desempenhar um papel num processo social envolvendo a outra pessoa.”

É importante mencionar que nesta pesquisa não há pretensão a abordar todos os corolários da TCP, o foco converge para a utilização do Corolário da Experiência que será apresentado em detalhes a seguir.

### 2.2.2 O corolário da experiência

*“O sistema de construção de uma pessoa varia conforme ela constrói sucessivamente as réplicas dos eventos”*

Através deste corolário Kelly (1963) propõe que as mudanças no sistema de construção de um indivíduo são operadas a partir de situações que envolvam experiência. Kelly descreve a experiência como uma construção de eventos, o que significa que não basta testemunhar uma sucessão de episódios, é necessário que haja uma construção e reconstrução dos eventos vivenciados para que possam ser promovidas, então, mudanças conceituais, sejam mudanças de construtos ou mudança nos sistemas de construção (MEDEIROS, 2006).

A construção, por sua vez, é vista como uma maneira de observar os eventos de modo que eles pareçam regulares. Para Kelly (1963), o aspecto fundamental da regularidade é a repetição - ao observar a repetição de alguns aspectos em eventos similares, o indivíduo pode abstrair-los e utilizá-los para prever acontecimentos. De acordo com Kelly (1963, p. 73) o homem começou a perceber essas regularidades quando observou que após uma noite escura, surgia um dia e que após esse dia surgia outra noite e assim, sucessivamente; ou quando observou o rolar de uma pedra no chão. Foi a partir dessas rápidas sucessões de eventos que o homem tornou-se apto para construir a noção dos ciclos e epiciclos, despertando para o universo como uma seqüência inflexível de eventos que lhe dão capacidade de predizer e tornar seu mundo mais gerenciável. O homem gradualmente descobriu que ele poderia vislumbrar o futuro através da experiência do passado.

Assim, os aspectos comuns abstraídos em eventos similares são denominados, na Teoria de Kelly, *temas recorrentes*. Ou seja, em um experimento o indivíduo dirige todos os seus processos psicológicos à procura de temas recorrentes, ou seja, de aspectos regulares que já podem ter sido observados por ele em outros experimentos similares (BASTOS, 1992).

Para compreender essa procura pelos temas recorrentes, à luz da Teoria dos Construtos Pessoais, é importante destacar que o processo de alteração do sistema de construtos de um indivíduo é auto-regulado, caracterizando essa busca como um processo continuamente realimentado. Assim, torna-se necessária uma metodologia de observação que abarque a experiência como um processo, e não como um evento instantâneo.

Visando contemplar o caráter não-pontual deste processo de reconstrução do indivíduo, Kelly define como unidade básica de experiência um ciclo que compreende cinco fases (LANDFIELD & LEITNER, 1980). Um Ciclo da Experiência completo é composto pelas fases de *Antecipação*, *Investimento*, *Encontro*, *Confirmação ou Desconfirmação* e *Revisão Construtiva*.

É apresentada a seguir, na figura 05, uma representação gráfica do Ciclo da Experiência de Kelly, envolvendo suas cinco fases tal como descrito por Medeiros (2006). A primeira fase, *antecipação*, compreende a previsão dos eventos a serem vivenciados pelo indivíduo, de forma que ele realmente procure enxergar o que está por acontecer. Nessa fase, o indivíduo constrói as primeiras réplicas dos processos que foram apresentados, buscando um prognóstico inicial dos eventos subseqüentes, de acordo com seu sistema de construção.

Após o primeiro contato com o objeto do conhecimento, o indivíduo passa à segunda fase do ciclo, o *investimento*. Nessa etapa o indivíduo deve procurar mergulhar na situação de modo a envolver-se a fundo com os eventos a serem vivenciados. Dessa forma, seus esforços serão canalizados de maneira mais eficiente para o processo de aprendizagem que se desenrola.

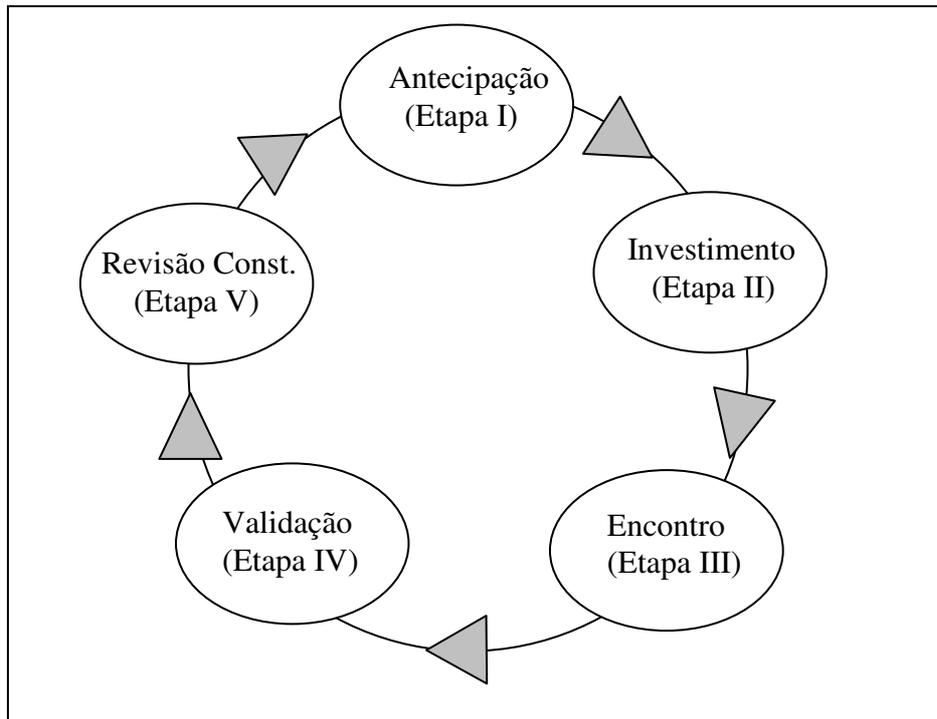


Figura 05: Esquema cíclico que representa as cinco fases do corolário da experiência (Cloninger 1999, p. 428).

O *encontro* compreende a interação estabelecida entre “o indivíduo” e “os eventos vivenciados”, constituindo a terceira etapa do Ciclo da Experiência de Kelly. Os produtos desta interação têm a profunda capacidade de transformar o indivíduo e sua forma de construir estes eventos (KELLY, 1977).

A partir do que foi experimentado na fase do *encontro*, o indivíduo deve ser capaz de confirmar ou desconfirmar seus prognósticos sobre os eventos vivenciados. Nesta quarta fase, que é chamada de *confirmação ou desconfirmação*, podem ser criadas novas construções sobre os eventos em questão ou podem ser reforçadas as construções antigas.

Ao atingir a quinta fase, chamada de *revisão construtiva*, o indivíduo conclui o Ciclo da Experiência, contemplando a unidade básica de aprendizagem definida por Kelly. Nesta fase o indivíduo reconhece as mudanças operadas em seu sistema de construção e toma consciência do crescimento cognitivo que foi promovido por este momento de experiência e aprendizagem.

Entretanto, segundo Bastos (1998), para ocorrer a aprendizagem, é necessário que a pessoa esteja verdadeiramente engajada nesse processo complexo. Ou seja, os professores não devem esperar que seus alunos mudem suas idéias porque tiveram contato com um evento, com uma determinada atividade didática. Se eles não estiverem preparados para este evento, se eles não tiverem investido na sua antecipação e se eles não considerarem o que aconteceu de uma forma crítica, nenhuma mudança será observada. Assim, as situações de aprendizagem devem ser delineadas de modo a proporcionar aos alunos as condições necessárias a essa análise crítica e processual dos eventos vivenciados.

Kelly (1963, p. 171) cita um caso de um diretor de escola, que tinha tido apenas um ano de experiência, repetido trinta vezes, isso significa que esse diretor, não se permitiu fazer escolhas que lhe oferecesse novas experiências, novos conhecimentos. O diretor passou trinta anos repetindo as mesmas ações, não se permitindo experimentar algo novo que lhe reconstruísse, na sua função de diretor e no seu papel social de indivíduo. Também cita o caso de um oficial naval de tinha uma extensa experiência, mas cujas construções eram inválidas, o que poderia levá-los a tomar atitudes e decisões infundadas.

Assim, como a duração da experiência não é garantida de validade dos nossos construtos pessoais, tampouco, a extensão da experiência nos dá algum tipo de garantia. As pessoas que tomam os eventos como garantidos, e aquelas que não buscam nada de novo para jogar sobre eles, somam muito pouco à sua bagagem de experiência com o passar do tempo. Algumas teorias afirmam que o indivíduo aprende a partir da experiência. De acordo com a teoria do construto pessoal, entretanto, é a aprendizagem que constitui a experiência (BEZERRA, 2005).

### 3. METODOLOGIA

O intuito deste capítulo é apresentar como o trabalho de pesquisa foi estruturado de modo que os objetivos definidos inicialmente pudessem ser alcançados. Para tanto se pretende apresentar detalhadamente todas as etapas realizadas, tanto pelo pesquisador como pelos alunos que participaram da intervenção.

A pesquisa foi realizada com alunos do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), que cursaram as disciplinas posteriores ao sexto período durante o segundo semestre de 2007. No decorrer do processo da intervenção toda a turma, aproximadamente 26 (vinte e seis) alunos, que participaram de alguns dos momentos da mesma, realizada em sala de aula, no entanto, foi escolhido uma amostra de 20 (vinte) alunos, que participaram de todas as etapas. Dividiu-se os alunos em grupos, com o intuito de que um grupo não interferisse na análise do outro. Esse processo ocorreu em horário de aula normal e incluiu a aplicação do aparato experimental por completo, a coleta de dados que foi apresentada posteriormente. A redução no tamanho da amostra deve-se ao fato de alguns alunos não terem disponibilidade para participar do processo completo.

Os alunos escolhidos são egressos do Ensino Médio há poucos anos, tendo tido uma educação básica fundamentada numa visão predominantemente linear e reducionista dos fenômenos naturais, também já tiveram contato com o tema a ser abordado anteriormente. Dessa forma espera-se que eles tenham algum conhecimento acerca do conceito de Relatividade da Simultaneidade, embora se acredite que suas concepções prévias tenham sido construídas numa ótica bastante restrita.

A opção pelos alunos licenciandos, enquanto amostra para essa pesquisa deu-se em primeiro lugar por parte do mestrando e responsáveis diretamente envolvidos no processo (professor da disciplina e o orientador). Em segundo lugar a escolha foi feita com o intuito de propiciar a esses professores em formação, uma nova abordagem para a construção do conhecimento de Física Moderna, que poderá vir a ser apresentada para os alunos do Ensino Médio e em terceiro e último lugar a opção pelos licenciandos se justifica tendo em vista as maiores possibilidades de divulgação

do trabalho em questão, já que muitos destes indivíduos estarão atuando como professores do Ensino Médio em um curto período.

Visando uma melhor análise dos vários aspectos envolvidos na situação estudada, foram utilizados diferentes instrumentos de coleta de dados: distintos questionários diagnósticos e a gravação de vídeo. Esses instrumentos permitem uma análise qualitativa dos dados coletados, fomentando discussões profundas sobre os sistemas de construções dos alunos entrevistados e suas possíveis alterações. O procedimento detalhado da análise será apresentado em seção posterior.

A gravação de vídeo como instrumento foi utilizada para completar o processo de coleta de dados, aplicado à turma em todos os momentos da intervenção, com o intuito de mapear as concepções prévias deles, nos momentos de discussões individuais e com o grande grupo. Também serviu para analisar nos primeiros momentos da intervenção, as concepções prévias dos alunos, facilitando o planejamento dos momentos seguintes da intervenção didática.

Conforme já comentado, nas próximas seções serão apresentados, em detalhes, as várias etapas da intervenção, o aparato experimental, a seqüência de aulas e os procedimentos de coleta e análise de dados, incluindo o questionário diagnóstico, e as gravações dos grupos de discussão.

### **3.1 O EXPERIMENTO NA PERSPECTIVA DE KELLY**

Segundo Kelly, as pessoas mudam com a experiência. As direções dessas mudanças variam individualmente. Talvez a teoria de Kelly seja igualmente interessante pelo que ele não diz sobre mudanças. Alguns teóricos propuseram estágios universais de desenvolvimento (por exemplo: Freud); Kelly não o faz (CLONINGER, 1999).

Diferentemente dos teóricos dos estágios, Kelly não supõe que o desenvolvimento ocorra numa seqüência fixa ou numa determinada direção. Ele tampouco enfatiza o papel do meio na produção de mudanças. Contudo, a Teoria dos Construtos Pessoais, proposta por Kelly é ampliada por outros teóricos, e descreve o desenvolvimento,

particularmente na idade adulta, quando as pessoas usam e revisam seus construtos pessoais (CLONINGER, 1999).

## **3.2 METODOLOGIA DA INTERVENÇÃO**

### **3.2.1 Amostra**

O grupo que participou desta pesquisa foi composto por 20 alunos, com faixa etária entre 23 e 39 anos, sendo todos, alunos do 6º período, da disciplina de Introdução à Relatividade do curso de Licenciatura em Física da UFRPE. A maioria desses alunos apresentavam dificuldades de aprendizagem na disciplina, uma vez que grande parte da turma estava cursando-a pela segunda ou terceira vez. Para identificá-los, usamos os números 1 a 20.

### **3.2.2 Instrumentos de coleta de dados**

Conforme já mencionado anteriormente utilizou-se, nesta pesquisa, como instrumento de coleta de dados questionários (apêndice I, V e VI) e gravações de vídeo para observação do participante.

Com relação aos questionários, Oliveira (2005) pontua que esse instrumento pode ser definido como uma técnica para obtenção de informações de dados que o pesquisador deseja registrar para atender os objetivos de seu estudo. Em regra geral, os questionários têm como principal objetivo descrever as características de uma pessoa ou de determinados grupos sociais.

Neste sentido, o questionário foi escolhido para a coleta de dados, pelo fato de ser um instrumento de registro em que os alunos iriam expor suas idéias, quanto ao tema em estudo.

Com relação às gravações de vídeo para as observações participantes, se realizaram através do contato direto do pesquisador com o material a ser observado e os atores

sociais, a fim de obter informações sobre a realidade dos atores sociais em seu próprio contexto. Por essa razão, as observações visam buscar os fundamentos na análise do meio onde vivem os atores sociais.

Segundo Oliveira (2005), na observação participante, o pesquisador, deve interagir como contexto pesquisado, ou seja, deve estabelecer uma relação direta com o grupo ou pessoas, acompanhando-os em situações informais e formais e interrogando-os sobre os atos e seus significados por meio de constante diálogo.

### **3.2.3 Estruturação da pesquisa**

Toda a pesquisa está fundamentada no Ciclo da Experiência de George Kelly (1963), visando obter um melhor aproveitamento da análise dos dados sobre vários aspectos envolvidos na situação estudada, desta forma é possível fazer uma análise qualitativa dos dados coletados, mais especificamente, através do uso do Corolário da Experiência. As atividades foram organizadas seguindo as 5 etapas propostas no ciclo da experiência.

Neste sentido, pretendeu-se compreender, descrever e oferecer subsídios para a melhoria do processo de ensino-aprendizagem, mais especificamente, para o Ensino de Física no 3º ano do Ensino Médio, em relação ao conceito científico de Relatividade da Simultaneidade.

Assim, escolheu-se o método estudo de caso, uma vez que se pretende atingir objetivos preestabelecidos. Segundo Yin (2005 apud OLIVEIRA, 2005, p.61), "O estudo de caso é uma estratégia metodológica do tipo exploratório, descritivo e interpretativo, que facilita a compreensão de fenômenos complexos".

### 3.2.4 Estruturação da intervenção

A intervenção foi estruturada para ser aplicada no período de 15 dias, durante os quais as atividades foram desenvolvidas em horário de aula, totalizando 04 (quatro) encontros com duração média de 80 minutos, cada.

A intervenção foi estruturada em torno de uma seqüência didática organizada de acordo com as cinco fases do Ciclo da Experiência de Kelly: Antecipação; Investimento; Encontro; Confirmação ou Desconfirmação e Revisão Construtiva. A cada fase do ciclo foram desenvolvidas algumas atividades. De acordo com o esquema abaixo, apresentado na figura 06.

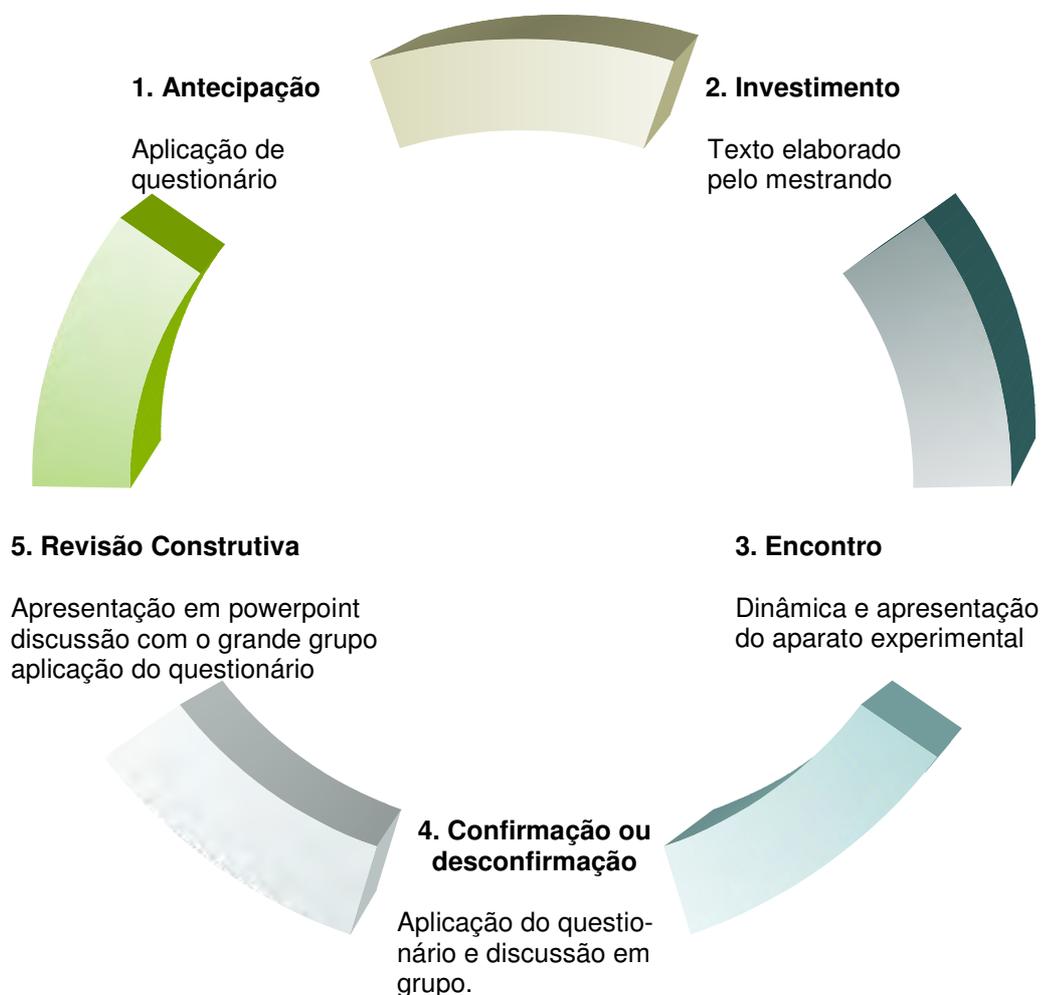


Figura 06: Atividades desenvolvidas segundo o Ciclo da Experiência de Kelly

## **Etapa 1**

A Etapa 1 corresponde à fase da Antecipação do ciclo da experiência e tem como principal objetivo fazer com que o aluno tenha um primeiro contato com o objeto de estudo. Nesta ocasião, o aluno toma conhecimento do evento a ser vivenciado e constrói alguma réplica deste evento a partir da estrutura do seu sistema de construção.

Inicialmente foi fornecido um questionário diagnóstico com 07 (sete) perguntas básicas sobre os conceitos de Relatividade da Simultaneidade (anexo I), que teve a duração de 20 minutos; tempo necessário para a conclusão das respostas.

## **Etapa 2**

Na etapa 2, ocorreu o Investimento que tem como objetivo envolver os alunos na preparação da dinâmica. Dessa forma, seus esforços foram canalizados de maneira mais eficiente para o processo de aprendizagem que se desenrola, caracterizando-se a segunda etapa do ciclo de George Kelly. Nesta ocasião foi fornecido um texto sobre alguns conceitos básicos do princípio da Relatividade da Simultaneidade para cada aluno que realizou uma leitura silenciosa por 30 minutos (anexo 2).

Após a conclusão da leitura em seguida aconteceu um debate com a duração de 30 minutos, abordando alguns conceitos básicos sobre a Relatividade da Simultaneidade que estão citados no texto.

## **Etapa 3**

Visando contemplar os conceitos abordados sobre a teoria na etapa 3 e antes de ser apresentado o modelo experimental à turma de alunos, foi iniciada uma dinâmica com 06 (seis) alunos, simulando em um modelo mais simples, no qual esses alunos participaram ativamente, de como se propaga a luz em relação a um obstáculo e dois observadores, com duração de 20 minutos.

Em seguida o pesquisador convidou 02 (dois) grupos para participarem como observadores nas respectivas posições no aparato experimental. No qual este contou com uma matriz de LED (Diodo Emissor de Luz) que representou a velocidade da luz se deslocando de forma linear, partindo dos observadores do grupo A e chegando a principio em quatro obstáculos também representado na matriz de LED.

Os observadores de cada grupo se posicionaram um de frente para o outro e o aparato experimental ficou entre os dois dando assim uma visão diferenciada para cada um deles em relação à seqüência de acendimento dos LED, esses que por sua vez estavam representando a velocidade da luz até os obstáculos.

Neste momento cada aluno dos dois grupos preencheram as suas respectivas tabelas (anexo 3) (grupo A ou grupo B) na qual encontra-se uma relação do acendimento dos LED com relação ao fator tempo, que teve uma duração de 60 minutos .

Após o preenchimento das respectivas tabelas os dois grupos de alunos (grupo A) e (grupo B) se juntaram em um grande grupo e posicionaram-se neste momento em frente ao aparato experimental para que pudessem participar como observador de todo o processo em andamento que somou mais 20 minutos.

#### **Etapa 4**

Essa abordagem do aparato experimental demonstrativo foi seguida por uma análise dos seus resultados pelos alunos que vivenciaram o aparato experimental em funcionamento.

Em seguida cada dupla teve a oportunidade de observar o aparato experimental em funcionamento que se reuniram de forma aleatórias, ou seja, os observadores do lado A misturados com os observadores do lado B fazendo 05 (cinco) grupos de quatro alunos e os alunos tiveram que responder um questionário com questões de reflexão feito pelo pesquisador, sobre quais seriam os aspectos que levaram ao conceito da Relatividade da Simultaneidade com relação ao aparato experimental até chegarem a um consenso.

Nesse momento foi utilizado o recurso de gravação de vídeo como coleta de dados concluindo assim a etapa da Confirmação ou Desconfirmação do ciclo da experiência, fechando assim o terceiro dia da intervenção com mais 80 minutos.

## **Etapa 5**

No ultimo momento do ciclo, ou seja, na Revisão Construtiva, na qual o aluno toma conhecimento das mudanças, pois sem ele segundo George Kelly, se este não existir não há presença de experiência.

Então o grande grupo se reuniu mais uma vez e o pesquisador conduziu uma discussão, no qual os alunos teve a oportunidade de socializar suas conclusões com o auxilio de uma apresentação em PowerPoint,

Ao longo da apresentação o pesquisador destacou alguns aspectos relevantes citados anteriormente nos questionários diagnósticos que pode ser colhido e que estavam de forma equivocada ou incompleta pelos alunos.

Para completar a fase da Revisão Construtiva cada aluno precisou voltar a responder algumas questões que foi apresentada no inicio da atividade, com o objetivo de investigar mais uma vez a sua construção, verificando possíveis modificações no seu sistema de construtos pessoais, concluindo assim toda as etapas da intervenção com mais 80 minutos.

### **3.2.5 Análise dos dados coletados**

Nesta seção serão ainda apresentadas as metodologias adotadas para a análise destes dois instrumentos de coleta de dados: questionário diagnóstico, planilha e as gravações de Vídeos dos grupos.

O Quadro 01 explicita o tipo de análise foi realizada em cada fase do Ciclo da Experiência, a partir do instrumento utilizado.

QUADRO 01- Tipo de análise realizada em cada fase do Ciclo da Experiência, a partir do instrumento utilizado.

<b>Fase 1</b>	Questionário e Vídeo	Análise do pré-teste e análise do debate.
<b>Fase 2</b>	Vídeo	Análise da interpretação do texto aplicado no investimento.
<b>Fase 3</b>	Vídeo e Planilha	Análise da dinâmica e análise da planilha de acendimento dos LED.
<b>Fase 4</b>	Vídeo e Questionário	Análise da evolução do discurso dos grupos ao longo da intervenção e análise dos testes intermediários.
<b>Fase 5</b>	Questionário	Análise do grande debate e análise do teste final.

A partir da análise das informações coletadas, foram realizadas as considerações finais sobre o processo de aprendizagem dos Conceitos de Simultaneidade no dia a dia, e Relatividade da Simultaneidade, bem como sobre o papel da intervenção didática nas mudanças ocorridas nos sistemas de construtos dos alunos participantes deste processo.

Os consensos formados durante as abordagens nas diversas etapas da intervenção foram transcritos e analisados tendo em vista a sua evolução ao longo do processo de aprendizagem. A pertinência dos aspectos de que observadores em pontos de referência distintos vêem eventos distintos e dos critérios para que possa haver simultaneidade foram pontos observados nas respostas dos alunos.

A análise destes consensos foi orientada de forma a monitorar a evolução das posturas adotadas pelos alunos ao longo da abordagem e verificar possíveis alterações na maneira como a simultaneidade estava relacionada com a constância da velocidade da luz, relevante em seu estudo. O fato desta abordagem, ter sido concebida baseada em um roteiro possibilitou uma análise mais integrada dos consensos obtidos, e conseqüentemente um diagnóstico mais preciso acerca da evolução das posturas adotadas pelos alunos.

### 3.3 O APARATO EXPERIMENTAL



Figura 07: Fotografia do aparato experimental

#### 3.3.1 Funcionamento da matriz de LED

Inicialmente podemos observar na figura 07 uma matriz de LED, no qual cada linha desta matriz representa o comportamento de um feixe de luz visível ao se chocar com os obstáculos aqui representado pelos LED A2, B3, C4 e D5 (Quadro 02). Como o aparato experimental foi construído com o intuito de representar o comportamento do feixe de luz visível ao se chocar com 04 obstáculos distintos, optamos para que este fosse representado por linhas de LED com cores também distintas.

Para uma melhor compreensão do funcionamento da matriz de LED, iremos nos limitar ao entendimento do comportamento do feixe de luz ao se chocar com o obstáculo de número 01 (LED A2) aqui representado na primeira linha desta matriz. Se observarmos o aparato experimental pela vista frontal, e considerarmos que o feixe de luz irá se deslocar no sentido da esquerda para a direita, logo iremos perceber que este feixe representado pelos LED da primeira linha, ao se deslocar com o tempo de um segundo, ao chegar no (LED A2) que representa o obstáculo de número 01 no aparato experimental, este feixe de luz é refletido voltando para o lado esquerdo e parte é refratada, prosseguindo para o lado direito.

Diante desta situação e considerando que do lado esquerdo do aparato experimental existe um observador de número 01 e do lado direito um segundo observador de número 02, podemos observar através do aparato experimental que a imagem chegará primeiro a retina do olho do observador 01, devido à diferença de distância na qual se encontram os dois observadores em relação ao mesmo obstáculo.

### 3.3.2 Estruturação dos blocos de circuitos eletrônicos

Nesta etapa pretende-se apresentar como foi realizada a estruturação dos blocos de circuitos eletrônicos com intuito de permitir a elaboração do aparato experimental de interesse. Contudo, para que haja a estruturação dos blocos de circuitos, em questão, é necessário que inicialmente tenha-se um planejamento da seqüência na qual os blocos de LED acendem e apagam a cada momento, tal como explicitado no quadro 02.

O planejamento desse esquema é essencial para facilitar a visualização do resultado final do aparato experimental.

QUADRO 02- Esquema do Programa de Matriz de LED

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9

1	Momento	→	Acende	<b>A1 B1 C1 D1</b>	Apaga	
2	Momento	→	Acende	<b>A2 B2 C2 D2</b>	Apaga	<b>A1 B1 C1 D1</b>
3	Momento	→	Acende	<b>A3 B3 C3 D3 A1</b>	Apaga	<b>A2 B2 C2 D2</b>
4	Momento	→	Acende	<b>A4 B4 C4 D4 B2</b>	Apaga	<b>A3 B3 C3 D3 A1</b>
5	Momento	→	Acende	<b>A5 B5 C5 D5 B1 C3</b>	Apaga	<b>A4 B4 C4 D4 B2</b>
6	Momento	→	Acende	<b>A6 B6 C6 D6 C2 D4</b>	Apaga	<b>A5 B5 C5 D5 B1 C3</b>
7	Momento	→	Acende	<b>A7 B7 C7 D7 C1 D3</b>	Apaga	<b>A6 B6 C6 D6 C2 D4</b>
8	Momento	→	Acende	<b>A8 B8 C8 D8 D2</b>	Apaga	<b>A7 B7 C7 D7 C1 D3</b>
9	Momento	→	Acende	<b>A9 B8 C9 D9 D1</b>	Apaga	<b>A8 B8 C8 D8 D2</b>

Dando seqüência a discussão, tem-se a figura 08, a qual ilustra diagrama que representa as partes do aparato experimental.

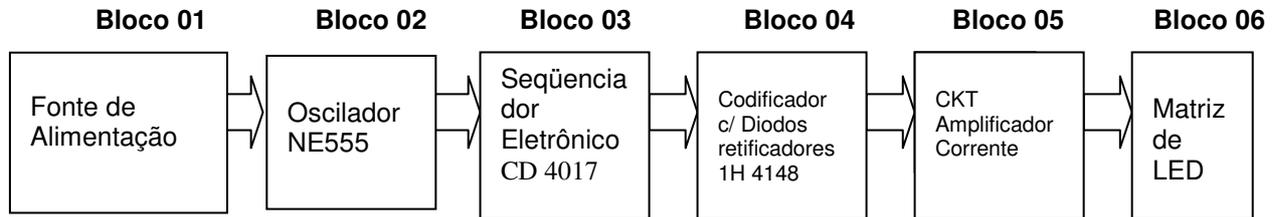


Figura 08: Diagrama em Bloco do Aparato experimental

A seguir nossa intenção é descrever, detalhadamente cada bloco desse diagrama.

### **Bloco 01 – Fonte de alimentação**

Tem como função converter a corrente alternada em corrente contínua e baixar a tensão de entrada de 220 Volt's para 12 Volt's para alimentar o circuito eletrônico, substituindo assim a alimentação por associação de pilhas ou baterias com as características de 12 Volt's e consumo de até um amper.

### **Bloco 02 – Oscilador controlador do intervalo entre momentos (QUADRO 02)**

Tem como função controlar o intervalo de tempo entre um momento e outro de cada acendimento, pois se trata de um circuito integrado oscilador onde na porta de saída este varia a tensão entre 0 Volt's ou aterrado e 5 Volt's que para o bloco posterior este entende como um pulso de entrada.

### **Bloco 03 – Seqüenciador Eletrônico de Informação dos LED**

Tem como função informar através das 10 portas de saída, qual o grupo de LED irão acender para aquele determinado momento, conforme (QUADRO 02), que consta com momentos de 01 até 09 ficando o momento 00 como ponto de partida para a seqüência de acendimento na qual todos os LED estarão apagados.

## **Bloco 04 – Codificadores dos amplificadores de corrente**

Tem como função informar ao amplificador de corrente qual o bloco de LED que irão acender para aquele momento.

## **Bloco 05 – Amplificadores de corrente**

Tem como função receber uma informação na sua porta lógica de entrada e amplificar essa informação em corrente na sua porta lógica de saída para o acendimento dos LED.

## **Bloco 06 – matriz de LED**

Tem como função mostrar o resultado de modo visível desta seqüência de acendimento.

### **3.3.3 Processo de construção**

Inicialmente foi construída uma fonte de alimentação principal para converter a tensão alternada de 220 ou 110 Volts, também chamada de AC em tensão contínua de 12 Volts, chamada aqui de DC. Esta fonte de alimentação deve ter um fornecimento estabilizado de tensão e corrente que possa fornecer ao circuito sem haver perda considerada na tensão de 12 Volt's e uma corrente de até 0,65 amper, devido ao consumo elétrico do LED, que representa em torno de 70% do consumo total em pleno funcionamento. Sabendo-se desta necessidade para construção e funcionamento do aparato experimental foi desenvolvida uma fonte de alimentação que tivesse essas características e para não trabalharmos no limite de fornecimento de energia, no projeto optou-se para a construção de uma fonte estabilizada e que esta fornecesse uma corrente contínua superior a solicitada pelo circuito aqui discriminado, assim a fonte projetada pôde fornecer uma tensão de 12 Volts e uma corrente de até 1 (um) amper sem haver perda no fornecimento da tensão, uma vez que isso é primordial para o bom funcionamento do aparato experimental.

Ao construir o aparato experimental optei também para este funcionar com tensão de 12 Volts, descritos anteriormente, pois foi prevista a necessidade deste operar com o circuito eletrônico em sala de aula sem haver a necessidade de estar ligado a uma rede elétrica de tensão alternada. Optou-se por este estagio no circuito pois em alguns casos na sala de aula não existe tomada elétrica disponível para o fornecimento de energia elétrica, assim na placa principal foi construídos um circuito estabilizador e redutor de tensão (CI 7805), para que toda placa opere com uma tensão continua DC de 5 Volts e que fosse possível ser instalada uma bateria de 12 Volts e 3 a 4 amper/hora, visto que esse tipo de bateria é de fácil acesso em nosso comércio.

Agora com o problema de alimentação solucionado foi construídos um circuito oscilador eletrônico com um CI2 (circuito integrado número 2) NE 555 tal como explicitado na figura 08, que tem a função de gerar uma freqüência de oscilação, a qual varia entre 0 Volts ou 5 Volts, valendo salientar que quando tratamos na tensão de 0 Volts na verdade este ponto encontra-se aterrado para não haver alguma tensão e/ou corrente de fuga e obtermos um bom funcionamento do aparato experimental. Logo após a construção do material e havendo algumas dificuldades de observação foi ampliada a função do oscilador NE555, pois além de colaborar para o funcionamento do circuito como oscilador foi implantada uma chave seletora (S44) para o observador poder optar para que os pulsos de oscilação fossem de modo manual ou automático como acontecia antes da implantação da chave seletora, e também foi implantado neste bloco do circuito oscilador um trimpot (P1) que posteriormente possa a ser substituído por um potenciômetro que terá a função de ajustar o tempo ou a velocidade de clock (relógio de sincronismo do circuito eletrônico) no modo automático com o intuito de melhorar os modos de observação do circuito, seja de maneira mais lentamente ou rapidamente. Quando este se encontra no modo manual também foi adicionado um botão de pulso (S45) que terá a função de quando pressionado aplicar a tensão de 5 Volts no porta lógica do (bloco 03), fazendo a função do oscilador descrito anteriormente só que de modo manual.

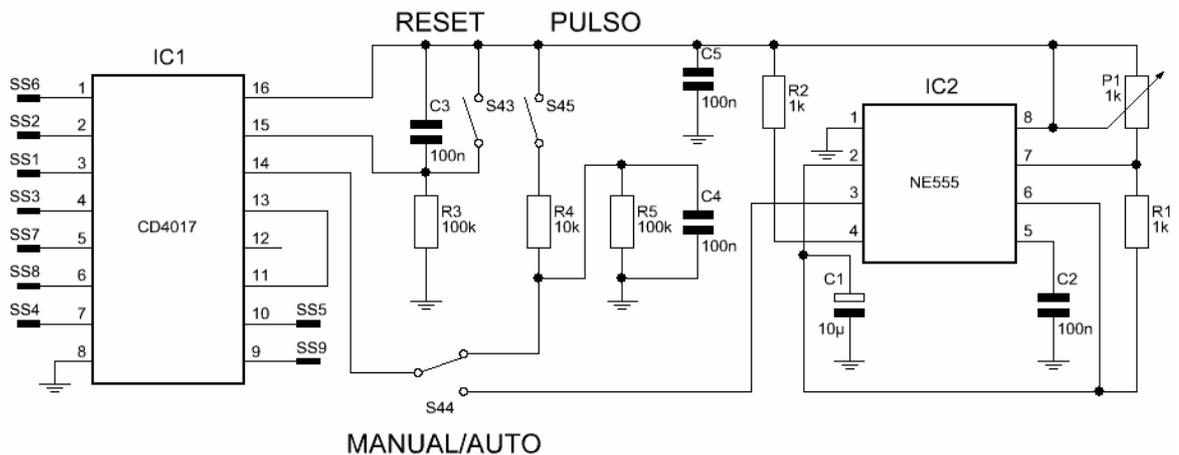


Figura 09: Esquema Elétrico dos Blocos 02 e 03

No bloco 03 foi implantado um circuito eletrônico CI1 (CD4017) que tem a função de seqüenciar os eventos descritos abaixo com a combinação de acendimento dos LED.

Este circuito informa ao bloco 04 através de uma porta lógica de saída que varia de SS2 até SS10, concluindo os nove eventos supracitados, e a porta lógica SS1 tem como função principal levar o circuito ao estado inicial logo que pressionado o botão S43 que tem a função de reset no circuito seqüenciador.

No bloco 04 utilizaremos um conjunto de 46 diodos retificadores 1N4148 podendo também ser utilizado qualquer um da linha 1N4001 a 1N4007, pois a opção de utilizar a linha 1N4148 era de diminuir os custos de material, apesar de que este tipo de diodo e de comutação rápida, não influencia no funcionamento do circuito aqui apresentado. Em seguida cada bloco de diodo é que vai informar quais os LED que irão acender em cada momento, por exemplo: no 8º (oitavo) momento irão acender os LED da matriz nas posições A8, B8, C9, D9, D1, então os diodos 1N4148 irá informar ao circuito amplificador de corrente ULM2004 que consta o bloco 05, quais os LED que deverão acender neste momento. O circuito integrado do bloco 05 foi implantado devido a baixa circulação de corrente nos blocos anteriores visto que para o acendimento dos LED faz-se necessário um aumento da corrente de consumo devido ao tamanho dos LED e por se tratar de um painel didático.

### **3.3.4 Princípio de funcionamento**

O circuito acima discriminado foi estruturado com o intuito de sua operação ser o mais didático possível, tendo em vista que o objetivo deste trabalho é observar a influência, de um aparato experimental, no processo de aprendizado dos alunos.

Assim, para fazê-lo funcionar, deve-se inicialmente posicionar a chave S44 na posição manual e em seguida observar a que rede elétrica que iremos ligar o circuito eletrônico, pois, esta deverá ser compatível com a entrada da fonte de alimentação que poderá vir a operar com tensão de 110 Volts ou 220 Volts. Vale salientar que se circuito aqui apresentado estiver chaveado para uma tensão de 110 Volts e for energizado com uma tensão de 220 Volts teremos danos aos componentes eletrônicos.

Após energizarmos corretamente o circuito eletrônico deve pressionar a chave S43 para levá-lo para o primeiro momento do seqüenciador, ou seja, para o momento 00; em seguida posicionamos a chave S44 para o modo automático e neste momento já podemos observar a seqüência de acendimento dos LED. A velocidade de acendimento poderá ser ajustada, girando o potenciômetro P1 que tem a função de aumentar ou diminuir o intervalo entre cada momento supracitado (QUADRO 02).

Posteriormente podemos também fazer que o circuito opere no modo manual, bastando para isso virarmos a chave S44 para o modo manual, assim o bloco 02 do circuito que tem a função de oscilador automático será desligado, ficando a função do oscilador desligado, para o operador do circuito. Desta forma será necessário pressionar o botão da chave S45 para o circuito mude para o próximo momento.

### **3.3.5 Aplicação de uma dinâmica simulando o aparato experimental**

Nesta seção nossa intenção é apresentar uma demonstração (dinâmica) com um grupo de seis alunos para simular o comportamento de um feixe de luz ao se chocar com um obstáculo, no qual parte deste feixe de luz é refletida e parte é refratada. Essa dinâmica tida como investigativa por envolver diretamente os alunos e propiciar uma

oportunidade de discussão teve como intenção maior facilitar o entendimento do aparato experimental.

Nesta simulação os alunos A5 e A6 representavam o feixe de luz, enquanto que o aluno A2 representa o obstáculo, analogamente explicado anteriormente no item 3.3.1. Os alunos A1, A3 e A4 estão simulando o posicionamento em intervalos regulares de 300000000 metros. A figura 10 ilustra essa dinâmica.

Após ser montado essa estrutura com o grupo de seis alunos, os alunos A5 e A6 deram um passo a frente se posicionando em frente ao aluno A1. Este deslocamento representou o feixe de luz no decorrer de um segundo, aqui nesta dinâmica representado pelos alunos (A5 e A6).



Figura 10: Dinâmica, envolvendo os alunos, acerca do comportamento do feixe de luz na “fonte luminosa”.

No decorrer do tempo os dois alunos (A5 e A6) que se encontravam inicialmente a 1(um) passo a esquerda do aluno A1, deslocam-se para frente e agora se posicionam em frente ao aluno A1 da fila, Essas modificações em relação a imagem representada na figura 10, estão explicitadas na figura 11.



Figura 11: Dinâmica, envolvendo os alunos, com relação ao comportamento, do feixe de luz no primeiro (s).

Os alunos A5 e A6, que representam um feixe de luz, ao se “chocarem” com o obstáculo representado pelo segundo aluno da fila (A2), estes são refletido (A6) e refratado (A5), tal como apresentado na figura 13.



Figura 12: Dinâmica, envolvendo os alunos, com relação ao comportamento do feixe de luz no segundo (s)

A figura abaixo figura 13, mostra para o grande grupo que devido à constância da velocidade da luz o observador que se encontra do lado esquerdo (OE) e está mais próximo do obstáculo (A2) vê a imagem refletida primeiro que o observador que encontra-se do lado direito (OD) que por sua vez vê o feixe de luz refratado.



Figura 13: Dinâmica, envolvendo os alunos, com relação ao comportamento do feixe de luz no terceiro (s)

### 3.3.6 Aplicação do aparato experimental em sala de aula

Após a aplicação da dinâmica descrita na seção anterior (3.3.4) o próximo passo da intervenção consistiu na aplicação efetiva do aparato experimental. Entretanto, para facilitar o entendimento deste, o pesquisador optou por, inicialmente, trabalhar com apenas a primeira linha de LED do aparato experimental tal como ilustrado na figura 14. O restante da matriz do aparato experimental foi coberta. Essa estratégia foi utilizada com o intuito de facilitar as analogias entre a dinâmica vivenciada anteriormente e o aparato experimental. Assim, os alunos puderam constatar os momentos de acendimento dos LED em relação aos fenômenos de refração e reflexão do feixe de luz.



Figura 14: Fotografia do aparato experimental com analogia da dinâmica.

Em seguida o aparato experimental foi apresentado por completo e a turma foi dividida na metade, 10 alunos se posicionaram do lado esquerdo do aparato experimental, enquanto a outra metade se posicionou do lado direito. Tal como ilustrado na figura 15. Os alunos tinham em mãos uma ficha didática para preenchimento durante a realização do funcionamento do aparato experimental, esta tabela funcionou com a finalidade de que cada aluno pudesse anotar o comportamento de acendimento dos LED da primeira coluna para o grupo B e o comportamento da última coluna para o grupo A, com o intuito de facilitar a discussão no momento em que os grupos se formaram posteriormente com alunos que participaram como observador do (lado A), misturado com observadores do (lado B), figura 15 e figura 16.


**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO**      **NOVEMBRO-2007**  
**CURSO DE MESTRADO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS**

**Mestrando: Décio da Silva Melo**      **Turma 2006**  
 Aluno: Eleba Farias      Período: 6º

**Grupo A**

		1º seg	3.10 <sup>8</sup> m	2º seg	3º seg	4º seg	5º seg	6º seg	7º seg	8º seg	9º seg
Obstáculo 01	Vermelho										X
Obstáculo 02	Amarelo										X
Obstáculo 03	Verde										X
Obstáculo 04	Azul										X

Figura 15 Ficha de didática para observação do acendimento dos LED (grupo A)


**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO**      **NOVEMBRO-2007**  
**CURSO DE MESTRADO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS**

**Mestrando: Décio da Silva Melo**      **Turma 2006**  
 Aluno: RAMON BEZERRA      Período: 6º

**Grupo B**

		1º seg	3.10 <sup>8</sup> m	2º seg	3º seg	4º seg	5º seg	6º seg	7º seg	8º seg	9º seg
Obstáculo 01	Vermelho	X			X						
Obstáculo 02	Amarelo	X					X				
Obstáculo 03	Verde	X							X		
Obstáculo 04	Azul	X									X

Figura 16 Ficha de didática para observação do acendimento dos LED (grupo B)



Figura 17: Layout da dinâmica com o grupo de alunos

Após os alunos estarem posicionados tal como ilustrado na figura 17, o pesquisador retirou o anteparo colocado anteriormente nas linhas 2, 3 e 4 da matriz de LED, figura 14 e deu início a atividade. O preenchimento da tabela é realizado à proporção que os momentos do quadro 02 se sucedem de forma manual. Assim, os alunos do lado esquerdo irão preencher o comportamento de acendimento da primeira coluna a cada segundo, enquanto, os alunos do lado direito irão preencher o comportamento de acendimento dos LED na última coluna do lado direito.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo pretende-se apresentar os resultados coletados durante o desenvolvimento desse projeto de pesquisa. Embora se tenha ciência que os dados formam uma seqüência lógica através da qual se pode acompanhar o processo de aprendizagem do aluno, ao longo da intervenção, vamos aqui explicitar como os mesmos serão apresentados e analisados.

Inicialmente foram analisados os questionários diagnósticos e em seguida foram analisados os consensos produzidos pelos grupos nas fases 1, 2, 3, 4 e 5 mais especificamente na fase 3 que corresponde a fase do Encontro, do Ciclo da Experiência. Conforme já mencionado, as gravações em vídeo também foram analisadas tendo em vista a evolução dos discursos dos grupos, no sentido de relacionar os diversos conceitos sobre simultaneidade. Nos quadros a seguir apresentamos as categorias das respostas referentes a cada questão dos questionários aplicados.

### **4.1 ANÁLISE DOS DADOS DO 1º QUESTIONÁRIO**

O primeiro questionário (apêndice I) foi aplicado na fase da Antecipação, que teve como objetivo conhecer as concepções prévias dos alunos quanto ao conceito de Relatividade da Simultaneidade. As respostas dadas pelos mesmos foram categorizadas e serão apresentadas nos quadros 03 a 09 a seguir.

## QUADRO 03 – Categorização das respostas referentes à questão 1:

O que você entende por referencial inercial?

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	ANTECIPAÇÃO	
	Aluno	%
Resultante da força nula (repouso ou movimento retilíneo uniforme)	12,17	10,0
Repouso	4,8,15,18,19	25,0
Repouso ou Velocidade constante	1,11,13	15,0
II Lei de Newton	2	5,0
Referencial em movimento	3	5,0
Ponto de observação	5,6,9,10,14,6,20	35,0
Evento no mesmo instante	7	5,0
TOTAL	20	100,0

Analisando as respostas dadas pelos alunos na fase da Antecipação e apresentadas no quadro 03, observou-se que as suas concepções iniciais tendem para pontuar a questão do “Referencial Inercial” que está ligado ao conceito de inércia e ponto de referência. É interessante notar que essas concepções refletem o que é normalmente abordado nos livros didáticos, mais especificamente, no terceiro ano do Ensino Médio no qual se discute os conceitos da Física Moderna.

Na Antecipação, 60% das respostas sobre este conceito referem-se a ponto de observação e repouso, sendo que 35% dos alunos têm a concepção de que referencial inercial refere-se a ponto de observação e 25% acham que se relaciona ao repouso; enquanto que 10% têm a concepção de que é um corpo que está em repouso ou

movimento retilíneo uniforme. Observou-se assim, que os alunos apresentaram dificuldades na análise da questão, principalmente no que se refere ao conceito de referencial inercial.

QUADRO 04 – Categorização das respostas referentes à questão 2:

O que você entende por eventos simultâneos?

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	ANTECIPAÇÃO	
	Aluno	%
Visto no mesmo instante de diversos referenciais	1,	5,0
Acontecem no mesmo instante em relação a um referencial	2,	5,0
Acontecem ao mesmo tempo	3,4,5,6,7,8,9,10,11,13,15,19,20	65,0
Eventos que ocorrem em sistemas inerciais, diferentes S e S'	12,18	10,0
Observadores em sistemas inerciais diferentes vêem o mesmo evento	14	5,0
São eventos em referenciais diferentes com fenômenos distintos	16	5,0
São eventos que independente do referencial acontecem ao mesmo intervalo de tempo	17	5,0
TOTAL	20	100,0

Através da análise do quadro 04, percebeu-se que as respostas dadas pelos alunos puderam ser enquadradas em mais de uma categoria, embora cerca de 65,0% dos mesmos (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 19 e 20) tenham respondido que eventos simultâneos são aqueles que acontecem ao mesmo tempo, ou seja, compreendendo o conceito corretamente.

As respostas do restante da turma encontram-se dispersas entre várias outras categorias e isso se deve ao fato deles tentarem considerar conhecimentos prévios

trabalhados anteriormente na disciplina. Assim, por exemplo, os alunos 12 e 18 procuram relacionar eventos simultâneos com o conceito de Relatividade da Simultaneidade, pois, mencionam os sistemas inerciais S e S'.

QUADRO 05 – Categorização das respostas referentes à questão 3:

A simultaneidade é absoluta ou relativa? Explique.

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	ANTECIPAÇÃO	
	Aluno	%
Relativa. Pois pode ser observada de diferentes referenciais	1,8,9,19	20,0
Relativa. Para velocidade próxima da luz.	2,6,10,13	20,0
Relativa. Depende do referencial adotado	3,12,15,17,20	25,0
Relativa. Dependendo da velocidade	4	5,0
Relativa. Eventos podendo ocorrer em tempos diferentes	5	5,0
Relativa. Depende da análise do acontecimento	7	5,0
Relativa. Segundo a teoria da relatividade	11	5,0
Relativa. Depende das medidas observadas	14	5,0
Absoluta. Ocorre independente do referencial e sim como é observado	16	5,0
Relativa. Sistemas diferentes geram eventos distintos	18	5,0
TOTAL	20	100,0

Analisando, no quadro 05, as respostas dadas pelos alunos a esta pergunta, percebeu-se que eles não se restringiram a escolher entre relativa ou absoluta e apresentaram uma tendência para justificar sua escolha. Acredita-se que tal fato, deve-se a uma dúvida e uma tentativa de minimizá-la atrelando as respostas explicações do senso comum. Outra possibilidade seria o fato de na questão primeira ter-se solicitado explicações.

Nesta fase, 95% dos alunos responderam que a simultaneidade é relativa, mas, em contra partida, todas as justificativas estavam ligadas a sistemas de referência e ao conceito da palavra “Relatividade da Simultaneidade” no qual uma das condições é que se esteja pelo menos a (0,60 a 0,99) da velocidade da luz.

Os alunos 3, 12, 15, 17 e 20 que representam 25% da amostra, relacionam as suas respostas com o trem relativístico de Albert Einstein, no qual dois observadores estão em referenciais diferentes em que um deles está parado e o outro em velocidade próximo da luz, quando neste momento os dois vêem um acontecimento, mas relatam os eventos de maneiras diferentes.

Observa-se que os alunos 1, 8, 9 e 19 que representaram 20% da amostra relacionaram a simultaneidade com os sistemas S e S', no qual observadores distintos puderam observar o mesmo acontecimento e os viram de maneiras diferentes, ou seja, o evento observado foi relatado de maneira diferente entre o observador 1 e o observador 2.

Os alunos 2, 6, 10 e 13 que representaram mais 20% da amostra, relacionaram à relatividade com velocidades próximo da luz, pois, este grupo mais uma vez se apropriou das definições dos livros didáticos para justificar a resposta.

O aluno 16 considerou que a resposta correta, é que a simultaneidade é absoluta, pois este desconsiderou que os sistemas de referencia não influenciaram na observação dos referidos indivíduos, o que importa é como o acontecimento é observado por ele.

Diante dessa perspectiva, percebeu-se que os alunos apresentavam grandes dificuldades na análise dessa situação, principalmente quando nos referimos à

definições de simultâneo e simultaneidade. Nesse caso, verificou-se a necessidade de exploração desses conceitos durante a realização das atividades.

QUADRO 06 – Categorização das respostas referentes à questão 4:

A luz propaga-se através do espaço vazio com uma velocidade definida  $c$  que é independente do estado do movimento do corpo emissor?

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	ANTECIPAÇÃO	
	Aluno	%
Sim	1,2,5,7,9,12,13,14,15,16,17, 18.19,20	70,0
Sim, pois a velocidade da luz é sempre (c).	3,4,	10,0
Não respondeu	6	5,0
Sim, para qualquer referencial inercial	8	5,0
Não	10	5,0
Sim, segundo o postulado da relatividade	11	5,0
TOTAL	20	100,0

Na análise do quadro 06, notou-se que na fase da Antecipação, 85% dos alunos estão com as suas idéias organizadas de acordo com o primeiro postulado de Albert Einstein, dentre esses, só 10% associaram as suas respostas à constância da velocidade da luz, mesmo que a fonte luminosa esteja se deslocando com velocidade próxima a  $c$ . Percebeu-se ainda nesta fase que só 5% dos alunos ao responderem sentiram a

necessidade de justificar as suas respostas de acordo com o segundo postulado de Einstein. Só o aluno 6, não conseguiu responder, deixando em branco a questão.

O aluno 8 ao responder que “sim, para qualquer referencial inercial” dá indícios de perceber que a fonte luminosa pode estar parada ou se deslocando com velocidade constante, o que denota forte influência do primeiro postulado de Einstein. Já a resposta do aluno 10 demonstra que este não compreendeu como uma fonte de luz se comporta ao se deslocar com velocidade próximo a  $(c)$ , em sua resposta o comportamento do feixe de luz deveria seguir as definições da Física Clássica, na qual haveria um somatório de velocidades relativas.

Finalmente, verifica-se no quadro 06, que as concepções de todos os alunos, com exceção do aluno 6 e 10, estão de acordo com o primeiro postulado de Einstein.

## QUADRO 07 – Categorização das respostas referentes à questão 5:

Será que a análise de um acontecimento é idêntica para dois observadores que tenham diferentes referenciais?

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	ANTECIPAÇÃO	
	Aluno	%
Não, referenciais diferentes levam interpretações diferentes.	1,4,5,7,12,15,16,17,18,20	50,0
Não, porque não obedecem as leis da Física clássica.	2	5,0
Não, só depende do referencial.	3	5,0
Não, Depende das grandezas envolvidas no acontecimento.	6	5,0
Não, porque os tempos são diferentes.	8,11	10,0
Não	9,10	10,0
Não, para grandes velocidades próxima de (c).	13,14	10,0
Sim, desde que a análise seja feita com os devidos ajustes.	19	5,0
TOTAL	20	100,0

Na análise do quadro 07, percebeu-se que as respostas dadas pelos alunos à questão foram enquadradas em mais de uma categoria. Contudo, cerca de 50% dos mesmos (1,4,5,7,12,15,16,17,18 e 20) responderam corretamente que, referenciais diferentes levam o observador a interpretações diferentes.

Ao analisar as outras respostas do grupo, percebemos que o aluno 2, entrou em contradição ao responder na justificativa: “porque não obedecem às leis da Física Clássica” e no quadro 08 o mesmo aluno confirma em sua resposta que as leis da Física são as mesmas para referenciais inerciais.

O aluno 3, na fase da Antecipação justificou em sua resposta que só dependeria do referencial envolvido na situação; descartando assim todas as variáveis envolvidas no acontecimento como: o tempo, o espaço, etc. A resposta apresentada pelo aluno 6, indica uma forte influência do senso comum e reprodução das variáveis usualmente apresentadas nos livros didáticos.

Ainda na Antecipação os alunos 8 e 11, também apresentaram em suas justificativas as relações entre tempo e acontecimento, mostrando que suas idéias ainda não estão bem estruturadas. Os alunos 9 e 10 responderam corretamente, mas não justificaram as suas respostas no quadro 07. Já os alunos 13 e 14 estavam com as suas idéias voltadas para o modelo do trem relativístico de Albert Einstein em que os observadores encontravam-se em referenciais diferentes, um está parado e o outro em velocidade constante próxima a  $(c)$ , limitando-se a esta única situação.

O aluno 19, na fase da Antecipação, mostrou que não compreendeu o conceito sobre simultaneidade, pois, ao afirmar que “sim” em sua resposta, ele entra em contradição com a sua resposta no quadro 08, na qual respondeu corretamente sobre os postulados de Einstein. Isso mostra mais uma vez que as suas idéias não estão bem estruturadas com relação ao conceito abordado.

Em linhas gerais, de acordo com o quadro 07, verificou-se que, diante de situações do cotidiano, os alunos nem sempre conseguiram relacionar os conceitos científicos vivenciados em sala de aula, apresentando respostas do senso comum e reprodução dos conceitos dos livros didáticos. Percebeu-se também que os alunos apresentaram grandes dificuldades na análise dessa situação, principalmente quando se referiram à aplicação dos conceitos de simultaneidade. Neste caso, verificou-se a necessidade de exploração desse conceito durante a realização da intervenção.

## QUADRO 08 – Categorização das respostas referentes à questão 6:

A que se refere os postulados de Albert Einstein?

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	ANTECIPAÇÃO	
	Aluno	%
Velocidade da Luz Constante	1,11,12,17	20,0
Nenhum corpo pode se deslocar com velocidade superior a (c) e as leis da Física são as mesmas para referenciais inerciais	2	5,0
Um acontecimento pode ocorrer de modo diferente	3	5,0
Velocidade da luz constante e que as leis da Física são as mesmas para referenciais inerciais.	4,8,13,14,16,19,20	35,0
Uma nova abordagem de fenômenos analisados e distância muito grande.	5	5,0
Não respondeu	6,7,18	15,0
Para explicar fenômenos através das leis da Física	9	5,0
Sobre a teoria da relatividade	10,15	10,0
TOTAL	20	100,0

De acordo com o quadro 08, os alunos (1,11,12,17,4,8,13,14,16,19 e 20) que representaram 55% da amostra responderam corretamente, sendo que 20%, ou seja, os alunos (1,11,12 e 17) tiveram suas respostas incompletas só relacionando-as com a constância da velocidade da luz.

O aluno 2, na fase ao responder que: “ Nenhum corpo pode se deslocar com velocidade superior a (c) e que as leis da Física são as mesmas para referenciais inerciais, mostrou que as suas idéias estão incompletas com relação ao conceito abordado.

Já o aluno 3 ao responder “ que um acontecimento pode ocorrer de modo diferente, mostrou como seu sistema de construtos ainda pouco organizado com relação ao conceito em questão, uma vez que ele não percebeu bem as divergências entre a concepção de acontecimento e evento.

Na análise do quadro 08, em relação aos postulados de Albert Einstein, percebeu-se que os alunos 6, 7 e 8 não responderam a pergunta, mostrando um total desconhecimento sobre a base da Relatividade da Simultaneidade pois, sem o entendimento e aceitação desses dois postulados é praticamente impossível o entendimento do conceito.

Tendo em vista todas as respostas apresentadas no quadro 08, percebeu-se que, como um todo, 45% dos alunos, apresentaram várias dificuldades na análise da questão abordada. Acredita-se que tal fato deve-se a ausência da explicitação dos dois postulados de Einstein, uma vez que o seu entendimento e aceitação são pré-requisitos fundamentais para o entendimento do assunto abordado.

QUADRO 09 – Categorização das respostas referentes à questão 7:

Ao fotografarmos uma régua graduada, em que as distâncias das extremidades de A e B são diferentes em relação à posição da máquina e do flash, será que a imagem refletida nos pontos A e B chegarão ao filme da máquina ao mesmo tempo?

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	ANTECIPAÇÃO	
	Aluno	%
Não	1,6,	10,0
Sim, pois o comprimento da régua é muito pequeno em relação a c	2,3,5,12	20,0
Não, pois quanto maior a distância, maior o tempo para a luz atingir o filme	4,20	10,0
Não devido a variação do tempo	7	5,0
Não, haverá uma correção relativística do tempo	8	5,0
Não, porque trata-se de pontos referenciais diferentes	9	5,0
Não, pois as extremidades da régua encontram-se a distancia diferente do flash	10,11	10,0
Não respondeu	13	5,0
Sim, pois a velocidade da luz é o limite	14	5,0
Não, devido ao ângulo de observação	15	5,0
Sim, chega ao mesmo tempo a luz tem a mesma velocidade par qualquer ponto	16,18	10,0
Sim, pois na direção do movimento o comprimento se contrai e o tempo se dilata.	17	5,0
Não, devido à velocidade da luz ser constante e as distancias diferentes o tempo também será diferente.	19	5,0
TOTAL	20	100,0

Na análise do quadro 09 na fase da Antecipação, verificou-se 35% de acertos (alunos 1, 6, 4, 10, 11, 19 e 20) e 65% de respostas relacionadas a outros conceitos, sendo 20% dessas, correspondendo a aspectos relacionados com a velocidade da luz que

não eram adequados à situação exposta. Dessa forma apesar das respostas não serem corretas, pelo menos, têm relação com o conceito analisado, o que já é um avanço.

Nesta fase apresentada no quadro 09, percebeu-se que os alunos também demonstraram pouca compreensão da questão, prevalecendo assim, respostas do senso comum, que entram em conflito com o conhecimento científico.

Os alunos (2,3,5,12,14,16,17 e 18) mostraram que não compreenderam a questão, indicando que o feixe de luz apesar de percorrer distâncias diferentes chegariam ao mesmo tempo no filme da máquina. Neste caso observou-se que mais uma vez há a reprodução do que é observado no dia-a-dia, ou seja, o senso comum, que muitas vezes para o aluno faz mais sentido que o conhecimento científico.

Diante desse quadro, percebeu-se que a maioria dos alunos teve suas definições à observação do dia-a-dia, descartando o conceito de que o tempo é relativístico e não absoluto. A partir desta constatação percebeu-se que o aluno se contradisse uma vez que para distâncias diferentes o feixe de luz irá percorrer estas trajetórias em tempos diferentes, fato que acabou sendo desconsiderado pelo aluno. Dessa forma, observou-se mais uma vez, que as leituras e discussões sobre os conceitos científicos devem ser priorizadas em atividades didáticas, para que os alunos desenvolvam o senso crítico e o poder de analisar as situações acreditando no conhecimento científico.

#### **4.2 ANÁLISE DOS DADOS DO QUESTIONÁRIO INTERMEDIÁRIO**

Visando contemplar o entendimento do funcionamento e função análoga de algumas das partes do aparato experimental, foi realizado um questionário intermediário entre a fase do Encontro e Confirmação ou Desconfirmação, com o intuito de facilitar o entendimento do mesmo e suas analogias com a realidade da Física Moderna, mais especificamente, o conceito de Simultaneidade.

A figura 18 abaixo retrata o entendimento de 100% dos alunos com relação ao que foi vivenciado, tanto na dinâmica expositiva com a participação de 6 alunos do grande grupo, como na fase de manipulação do aparato experimental. Assim, a abordagem de

cada um destes alunos foi relatada no questionário intermediário com a finalidade de avaliar como o modelo experimental estava estruturado cognitivamente e como eram as analogias entre alguns componentes eletrônicos do aparato e a dinâmica vivenciada previamente.

Analisando as respostas apresentadas na questão I do questionário abaixo, percebeu-se que 100% dos alunos conseguiram compreender a funcionalidade da matriz de LED (Diodo Emissor de Luz) que aqui representava o comportamento do feixe de luz ao se chocar com os obstáculos, sendo refratado e refletido.

Percebeu-se, nas respostas apresentadas na questão II, que também 100% dos alunos indicaram corretamente suas respostas, tanto a coluna da matriz de LED nas posições (2, 3, 4 e 5) e as cores (vermelho, amarelo, verde e azul), respectivamente no qual representavam o comportamento do feixe de luz ao se chocar com os quatro obstáculos apresentado no aparato experimental.

Na análise da resposta III, verificou-se que mais uma vez 100% dos alunos responderam corretamente, quanto aos aspectos de eventos ocorrerem de maneira diferente para observadores que estão muito próximo do outro. Estes responderam como: “Sim. Depende do referencial, no qual os observadores encontram-se, isso só é possível com um instrumento de medição de alta precisão, mas não a olho nu”.

Observou-se, assim, que as concepções de todos os alunos se aproximaram significativamente do conceito científico, o que evidencia o quanto a vivência das dinâmicas, em grupo, e a manipulação do aparato experimental contribuíram para essa evolução.



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO    NOVEMBRO-2007  
CURSO DE MESTRADO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS

Mestrando: Décio da Silva Melo                      Turma: 2006

Aluno: ARTUR JOSÉ J. DA SILVA                      Período: 8º

**Questionário :**

I. Com relação ao experimento pode-se observar 04(quatro) linhas de LED (diodo emissor de luz), o que este representa no estudo análogo da luz?

R. REPRESENTA O FEIXE DE LUZ QUE BATE NUM OBSTÁCULO E PARTE É REFRACTADA E PARTE REFLETIDA.

---

II. Em que coluna na matriz de LED's encontra-se os obstáculos ?

R. Obstáculo 01 → Posição na coluna (2) Cor do feixe de luz VERMELHO  
 Obstáculo 02 → Posição na coluna (3) Cor do feixe de luz AMARELO  
 Obstáculo 03 → Posição na coluna (4) Cor do feixe de luz VERDE  
 Obstáculo 04 → Posição na coluna (5) Cor do feixe de luz AZUL

III. Considerando-se que cada obstáculo encontra-se muito próximo do outro é possível observarmos o efeito de que um evento pode não ser simultâneo para dois observadores distintos?

R. SIM, DEPENDENDO DO REFERENCIAL ONDE OS OBSERVADORES ENCONTRAM-SE, ISSO COM UM INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO, MAS, A OLHO NÚ NÃO.

Figura 18: Respostas apresentadas pelo aluno 3 do questionário intermediário.

### 4.3 ANÁLISE DOS DADOS DO 2º QUESTIONÁRIO

Os quadros 10 a 17 apresentam as respostas dadas ao questionário aplicado durante a fase da Revisão Construtiva do Ciclo da Experiência Kellyana, após os alunos terem vivenciado a aplicação do aparato experimental na fase do Encontro e terem reproduzido o material experimental várias vezes.

QUADRO 10 – Categorização das respostas referentes à questão 8:

Qual o seu conceito sobre referencial inercial?

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	REVISÃO CONSTRUTIVA	
	Aluno	%
Resultante das forças nula (repouso ou movimento retilíneo uniforme).	2,3,4,5,6,7,8,10, 15,16,17,18,20	65,0
Repouso ou Velocidade Constante	1,11,12,13,19	25,0
Ponto de Observação	14	5,0
Ponto de Partida	9	5,0
TOTAL	20	100,0

Na análise do quadro 10, percebeu-se 90% das respostas explicitam que “a resultante das forças nula (repouso ou movimento retilíneo uniforme)” e “repouso ou velocidade constante”, mostrando que mudaram as concepções apresentadas na fase da Antecipação.

Observou-se, assim, que as concepções de todos os alunos evoluíram no sentido de se aproximar do conceito científico, o que evidencia o quanto a vivência nas fases da Antecipação; Investimento; Encontro; Confirmação ou Desconfirmação contribuíram para essa evolução. Os resultados mostrados no quadro 03 mostraram de como eram as idéias dos alunos antes da fase da Revisão Construtiva, em relação ao conceito de referencial inercial. A exceção foram os alunos 9 e 14 demonstraram não compreender o conceito de referencial inercial, tanto na fase da Antecipação, quanto na fase da Revisão Construtiva, mantendo a resposta como sendo um ponto de observação e ponto de partida, respectivamente.

Diante desse quadro percebeu-se que, a maioria dos alunos organizaram suas idéias, conseguindo identificar na situação apresentada, como seria a sua concepção sobre referencial inercial. Esse resultado positivo pode ter sido consequência dos alunos terem discutido o conceito de referencial inercial após as dinâmicas em sala de aula e dos debates aplicados na fase do Encontro.

QUADRO 11 – Categorização das respostas referentes à questão 9:

Com relação ao aparato experimental qual a distância para que o feixe de luz percorresse entre os obstáculos no período de 1 segundo?

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	REVISÃO CONSTRUTIVA	
	Aluno	%
300000000 m	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12, 13,14,15,16,17,18,19,20	100,0
TOTAL	20	100,0

Na análise do quadro 11, no que se refere à distância que o feixe de luz percorre entre os obstáculos, observou-se que todos os alunos acertaram a questão. Esse resultado positivo indicou que os alunos conseguiram compreender o conceito envolvido no aparato experimental aplicado em sala de aula.

Comparando estes resultados com os resultados apresentados no quadro 06, verificou-se um grande avanço principalmente no que diz respeito ao aluno 6, que na fase da Antecipação não conseguiu responder à questão, e ao aluno 10 que na fase da Antecipação percebia a velocidade final como a soma das velocidades relativas.

De acordo com o que foi apresentado, verificou-se que, diante de situações do cotidiano, após serem discutidas em sala de aula, a maioria dos alunos conseguiram aplicar o conceito científico, distanciando-se do senso comum.

## QUADRO 12 – Categorização das respostas referentes à questão 10:

O tempo é relativo ou absoluto? Explique?

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	REVISÃO CONSTRUTIVA	
	Aluno	%
Relativo, sofre dilatações em referenciais inerciais diferentes com velocidade próxima a $c$ e $c$ é constante.	1,2,4,5,6,7,8,11,12,13,16,18	60,0
Relativo devido a constância da velocidade da luz.	3,19	10,0
Relativo.	9	5,0
Relativo para grandes velocidades e absoluta para pequenas velocidades.	10	5,0
Relativo, só depende do referencial.	14,17	10,0
Absoluto, pois observadores em referenciais diferentes vêem o mesmo evento em tempos diferente.	15	5,0
Absoluto, porque independe de referenciais.	20	5,0
TOTAL	20	100,0

Analisando as respostas apresentadas nesta questão, percebeu-se que 65% dos alunos conseguiram compreender o motivo; porque o tempo é relativo e relacionar com a constante velocidade da luz ( $c$ ), sendo que 60% dos alunos vincularam suas respostas à referenciais inerciais, enquanto 10% relacionou com a constância da velocidade da luz ( $c$ ) e 5% não justificou, mas respondeu corretamente como relativo.

A resposta dada pelo aluno 10 está relacionada com os conceitos e postulados definidos nos livros didáticos, gerando um conflito em sua resposta, pois para esse individuo o tempo só é relativo quando tratarmos este em sistemas referenciais que estejam com velocidades próximas da luz ( $c$ ). Os alunos 15 e 20 novamente não compreenderam o conceito de relativo e absoluto, apresentando em suas respostas

aspectos relacionados a observadores em referenciais diferentes S e S', que vêem o mesmo evento independentemente do referencial em que se encontram.

QUADRO 13 – Categorização das respostas referentes à questão 11:

A simultaneidade é genuinamente um conceito relativo ou absoluto?

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	REVISÃO CONSTRUTIVA	
	Aluno	%
Relativo	1,2,3,4,5,6,7,9,10,12,13,14, 15,17,18,19	80,0
Absoluto	8,11,20	15,0
Relativo para grandes velocidades e absoluto para baixas velocidades	16	5,0
TOTAL	20	100,0

Analisando as respostas apresentadas nesta questão, observou-se que 80% dos alunos (1,2,3,4,5,6,7,9,10,12,13,14,15,17,18 e 19) conseguiram compreender o conceito de simultaneidade enquanto 20% não conseguiram.

Comparando alguns resultados apresentados no quadro 05, na fase da Antecipação, verificou-se um grande avanço, pois, apesar de responderem corretamente, as suas justificativas entravam em contradição com as respostas quando eles tentaram explicar se a simultaneidade é absoluta ou relativa. Já na fase da Revisão Construtiva, percebeu-se que existe uma concentração na justificativa em relação à constância da velocidade da luz (c).

Com relação aos alunos 8, 11 e 20 notou-se que eles ainda estavam com as suas idéias desorganizadas sobre o conceito, pois podemos verificar que nos quadros 05 e 12, os mesmos responderam que a simultaneidade é relativa enquanto que no quadro

13 optaram por responder que a simultaneidade continua sendo um conceito absoluto, mesmo sabendo que para isso acontecer é necessário relacionar o conceito com velocidades próximas da luz.

O aluno 16 continuou com as suas idéias fundamentadas no livro didático e no senso comum, e podemos observar que ele respondeu como se fosse um observador que estivesse em um determinado momento num sistema de referencia e no segundo momento em outro sistema.

Diante desses resultados, percebeu-se mais uma vez, que a cada fase do ciclo, o aluno vai organizando suas idéias, aproximando-se mais dos conceitos científicos desejados

.

QUADRO 14 – Categorização das respostas referentes à questão 12:

Um observador localizado no centro de um vagão de um trem que se desloca numa trajetória retilínea com uma velocidade constante próxima a da luz e acontecem dois relâmpagos ao mesmo tempo no início e fim do vagão, este observador consegue vê os relâmpagos ao mesmo tempo? Explique.

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	REVISÃO CONSTRUTIVA	
	Aluno	%
Sim, pois tanto o observador quanto os relâmpagos encontra-se no mesmo referencial inercial.	1,2,3,4,8,9,10,11,12,17,18,19	60,0
Sim, porque a velocidade da luz é constante (c).	4,15,20	15,0
Não, devido as velocidades envolvidas o relâmpago do fim do vagão chegará primeiro.	6	5,0
Sim, pois as leis são as mesmas em todos os sistemas inerciais.	7	5,0
Sim, pois a distância entre o observador e os dois flash são a mesma.	13	5,0
Não, pois ele vê o flash da frente e depois o de traz devido o movimento.	14,16	10,0
TOTAL	20	100,0

Analisando as respostas apresentadas pelos alunos observou-se que a maioria explicou a resposta corretamente, utilizando as afirmações dadas por Einstein quando se referiu ao trem relativístico. Contudo, o grupo que corresponde ao percentual de 60% (1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 17, 18 e 19) fez referência que isso só era possível devido ao postulado de Albert Einstein com a constância da velocidade da luz (c).

Os alunos 4, 15 e 20 acrescentaram as suas respostas “a constância da velocidade da luz (c)”, completando assim uma visão mais aprimorada sobre o comportamento das fontes luminosas (relâmpagos) neste exemplo. O aluno 6 mostrou que não

compreendeu a pergunta, pois sua resposta apresentou aspectos relacionados à situação em que as fontes luminosas apesar de acontecerem ao mesmo tempo, estão em um segundo sistema de referência ( $S'$ ), ou seja, encontra-se fora do vagão do trem.

A resposta dada pelo aluno 13 está relacionada com a situação de distância, desconsiderando que nesta situação os relâmpagos podem ocorrer em sistemas inerciais diferentes. Já os alunos 14 e 16 consideraram em suas respostas que os relâmpagos aconteceram fora do vagão de trem, isso mostra que essas idéias estão claras para algumas situações e confusas para outras.

Dessa maneira, percebeu-se o quanto é importante à elaboração de um planejamento voltado para o desenvolvimento das idéias apresentadas em analogia dos livros didáticos buscando uma maior aproximação do conhecimento científico.

QUADRO 15 – Categorização das respostas referentes à questão 13:

É possível que observadores em posições diferentes em relação a um determinado acontecimento vêem eventos diferentes. E porque isso e possível?

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	REVISÃO CONSTRUTIVA	
	Aluno	%
É possível devido à constância da velocidade da luz (c).	1,4,5,6,9,10,12,13,15,16,17,18,19,20	70,0
Se a distancia forem a mesma eles vêem os eventos simultâneos.	2,	5,0
Só depende do sistema de referência em que o observador encontra-se.	3,7,11	15,0
Sim, o evento é o mesmo para qualquer referencial inercial.	8	5,0
Sim, citou o exemplo de lançamento vertical com o sistema em movimento.	14	5,0
TOTAL	20	100,0

Analisando as respostas apresentadas pelos alunos no quadro 15 observou-se que a maioria explicou a resposta corretamente, no qual 70% dos alunos (1, 4, 5, 6, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19 e 20), relacionaram a sua resposta com a constância da velocidade da luz.

Comparando alguns resultados apresentados no quadro 07, verificou-se um grande avanço, principalmente no tocante aos alunos (6, 9, 10, 13 e 19) que representaram

25% da amostra, e que explicaram o acontecimento do fenômeno relacionando-o com a constância da velocidade da luz.

A resposta do aluno 2 na fase da Antecipação, apresentava um aspecto que relacionava o acontecimento com a desobediência das leis da Física, no entanto, as suas respostas posteriores, categorizada no quadro 08, indicaram que ele mudou de opinião e que agora é capaz de perceber a possibilidade de ter uma situação em que dois referenciais inerciais se deslocando em mesmo sentido e com mesma velocidade e os observadores não vêem o mesmo evento.

Os alunos 3, 7 e 11 apresentaram, na fase da Revisão Construtiva, aspectos relacionados a eventos que não corresponde com a situação explorada. Já os alunos 8 e 14 mostraram que não compreenderam o conceito de Relatividade da Simultaneidade, respondendo que: “Sim. O evento é o mesmo para qualquer referencial inercial” e citando o exemplo de lançamento vertical com o sistema em movimento”. As respostas dos alunos 8 e 14 fogem do conceito abordado.

Diante das respostas apresentadas, verificou-se que as fases do Investimento e Encontro foram fundamentais para as mudanças das concepções dos alunos, pois, os mesmos conseguiram apresentar respostas em acordo com o conceito científico, justificando os motivos dos eventos não acontecem simultaneamente. Na fase da Revisão Construtiva, conforme o quadro 15, os acertos chegam a 70%.

É interessante notar que os alunos foram aperfeiçoando seus conceitos, a partir da análise de situações e da vivência com o modelo experimental abordado em sala de aula, bem como devido a participação nos debates em relação ao comportamento e funcionamento do aparato experimental.

QUADRO 16 – Categorização das respostas referentes à questão 14:

Quantos são e a que se referem os postulados de Albert Einstein?

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	REVISÃO CONSTRUTIVA	
	Aluno	%
A velocidade da luz é constante e invariância das leis da Física	1,2,3,4,5,6,7,8,10,12,13,14, 15,16,17,18,19,20	90,0
A velocidade da luz é constante	9	5,0
A velocidade da luz é o limite e invariância das leis da Física	11	5,0
TOTAL	20	100,0

Na análise do quadro 16, no que se referiu aos dois postulados de Albert Einstein, observou-se que todos os alunos, com exceção dos alunos 9 e 11, acertaram a questão. Esse resultado positivo indicou que os alunos conseguiram compreender esses postulados.

Comparando-se estes com alguns resultados apresentados anteriormente no quadro 08, verificou-se um grande avanço, principalmente com relação aos alunos (1,11,12 e 17), que na fase da Antecipação tiveram as suas respostas incompletas e pelos alunos 6, 7 e 18, que não conseguiram responder à questão. Já os alunos 10 e 15 que na fase da Antecipação responderam que se referia à teoria da relatividade, na fase da Revisão Construtiva responderam de forma mais específica relacionando suas respostas aos dois postulados fundamentais.

Diante desses resultados, verificaram-se 90% de acertos, indicando que a maioria dos alunos conseguiram evoluir em seus conceitos na aceitação dos postulados fundamentais para o entendimento da Relatividade da Simultaneidade. Nesse sentido,

percebeu-se que o ciclo contribuiu nessa evolução, embora alguns alunos, que representaram 10% da amostra, ainda apresentem respostas incompletas ou com algumas divergências em relação aos dois postulados fundamentais. Acredita-se que esses alunos não tenham participado de maneira satisfatória da seqüência de atividades apresentadas, não demonstrando alterações significativas em suas concepções prévias.

QUADRO 17 – Categorização das respostas referentes à questão 15:

Ao fotografarmos objetos de grandes dimensões é verdade que a imagem refletida no obstáculo ao chegar na película da máquina fotográfica, esta irá ser impressa em tempos diferentes para cada ponto na película?

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	REVISÃO CONSTRUTIVA	
	Aluno	%
Sim, pois a velocidade da luz é constante e este chega em tempos diferentes para distancias diferentes.	1,4,5,7,8,11,12,14,15,18,19	55,0
Sim, mas e praticamente impossível essa diferença ser vista à olho nu.	9,16,17	15,0
Sim	2,6,13,20	20,0
Não	3,10,	10,0
TOTAL	20	100,0

Analisando as respostas apresentadas nessa questão, percebeu-se que 90% dos alunos (1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20) conseguiram compreender o conceito envolvido. Sendo que dentre estes 20% não quiseram justificar as suas respostas, apesar de estarem corretas, enquanto que, os 15% restantes não quiseram arriscar nas justificativas abordando o conhecimento científico. Cerca de 10%

dos alunos não conseguiram dar a resposta correta, acreditamos que este dois alunos talvez não tenham participado ativamente de todas as etapas da intervenção.

Os alunos 3 e 10 mostraram que não entenderam a questão, indicando que apesar das distâncias serem diferentes e da velocidade da luz ser constante essa percorreria distâncias diferentes com o mesmo tempo. Na análise do quadro 09 observou-se que as idéias do aluno 10 encontraram-se pouco estruturadas, pois, este na fase da Antecipação respondeu que “Não, pois as extremidades da régua encontram-se a distâncias diferentes do flash”. Já o aluno 3 apresentou certas dificuldades, tanto na fase da Antecipação como na fase da Revisão Construtiva, tendo em vista que nas suas respostas continuaram prevalecendo as idéias do senso comum.

Esse resultado é interessante, uma vez que na fase da Antecipação a maioria dos alunos tentou justificar as suas respostas com conceitos que não estavam ligados diretamente a questão. Apenas o aluno 19 apresentou em sua justificativa, ainda na fase da Antecipação, certa coerência quando escreveu que: “só era possível devido à constância da velocidade da luz”.

Diante desse quadro, percebeu-se que a maioria dos alunos aproveitou de forma significativa às discussões e definições envolvidas nos debates, bem como a vivência com o aparato experimental, o que possibilitou revisões de suas justificativas prévias pautadas das idéias do senso comum sobre as questões.

#### **4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Tendo em vista os resultados apresentados e discutidos até então apresentamos em linhas gerais, os principais aspectos observados durante a aplicação da intervenção.

Os resultados da aplicação do 1º questionário na fase da Antecipação foram bastante satisfatórios, uma vez que, foram verificadas as idéias prévias sobre referencial inercial, eventos simultâneos e a constância da velocidade da luz. Observou-se que essas idéias estavam bastante distanciadas do conhecimento científico e ligadas a conceitos intuitivos (senso comum). Observou-se também que grande parte dos alunos

teve dificuldades para justificar as repostas, mesmo quando elas estavam corretas. Frequentemente a justificativa divergia ou se contrapunha a resposta evidenciando uma falta de compreensão do fenômeno abordado.

Uma das grandes dificuldades dos alunos surge, na aceitação de que em um acontecimento, observadores parados com distâncias na ordem de  $10^8$  vêem eventos diferentes. Neste caso eles precisam romper com o senso comum, que considera o tempo como uma grandeza relativa para grandes velocidades e absoluta para pequenas velocidades. Nesse novo paradigma, é preciso rever conceitos como simultaneidade, aceitando o tempo como relativo, isto é, que o tempo realmente constrói mais um eixo no sistema de referência (x, y, z, t) que utilizamos para descrever os movimentos dos corpos.

Devido a essa dificuldade, a compreensão dos conceitos de tempo relativo e composição de velocidades com valores muito próximos da luz (c), fez-se necessário na intervenção uma aula expositiva, apresentando a expressão matemática de dilatação do tempo e contração do espaço, e uma discussão buscando a aceitação do segundo postulado de Einstein no que diz respeito a constância da velocidade da luz.

Assim, inicialmente as repostas giravam em torno de modelos comuns nos livros didáticos, incluindo aí os sistemas de referência, sem maiores considerações sobre aspectos tais como: tempo, distância, constância da velocidade da luz e eventos que ocorrem ao mesmo tempo. No final do processo, estes aspectos passam a ser considerados indicando uma conscientização gradativa de sua importância no entendimento do conceito de Relatividade da Simultaneidade.

A análise das gravações feitas ao longo da intervenção, e que foram utilizadas meramente como um suporte para a análise dos questionários, corroboram os resultados encontrados através dos mesmos, ou seja, as crescentes modificações e reestruturações observadas nas repostas dos alunos.

Com relação ao papel do aparato experimental, que possibilitou a vivência de uma situação mais concreta e o estabelecimento de analogias entre a realidade e o mesmo, observou-se que sua manipulação propiciou uma importante oportunidade para os

alunos revisarem suas concepções iniciais. Acredita-se que essa manipulação, em conjunto com a aplicação dos questionários, além de desencadear conflitos cognitivos que segundo Bastos (1992), são importantes para a construção de um novo conhecimento, também permitiu a percepção, por parte dos alunos de aspectos relacionados ao conceito de Relatividade da Simultaneidade, que se repetem e que são essenciais para o processo de reconstrução do conceito em questão tornando-o mais próximo do conhecimento científico.

Assim, a inserção do aparato experimental foi relevante no sentido de propiciar aos alunos a percepção de muitos aspectos tratados na intervenção (tempo, distância, constância da velocidade da luz, eventos que ocorrem ao mesmo tempo) dentro do estudo de Relatividade da Simultaneidade. Neste sentido o papel do aparato experimental foi extremamente válido, na medida em que se verificou efetivamente uma melhora nos discursos dos grupos que foram gravados ao longo das atividades. Inclusive, a manipulação do aparato experimental foi considerada pelos alunos na avaliação final das atividades, como uma das etapas que mais facilitou na compreensão do conceito científico de Relatividade da Simultaneidade, possibilitando uma relação significativa entre a teoria e a prática.

Por fim, com relação ao planejamento das atividades e sua estruturação a partir do Ciclo da Experiência de Kelly, pode-se dizer que, todos os momentos foram extremamente importantes e que as cinco fases do ciclo mostraram-se extremamente adequadas, permitindo uma abordagem que não apenas pontuava as especificidades do tema em questão, mas também procurava auxiliar os alunos em seus processos cognitivos.

## 5. CONCLUSÕES

Tendo em vista os objetivos propostos inicialmente, podemos dizer que a pesquisa, em questão, foi realizada com sucesso uma vez que:

- o aparato experimental propiciou uma visão do fenômeno, distinta da abordagem tradicional que é observada nos livros didáticos, contribuindo para a estruturação de práticas mais significativas para os alunos no que diz respeito ao conceito de Relatividade da Simultaneidade;
- o aparato experimental desenvolvido e as dinâmicas que auxiliaram sua compreensão foram determinantes no sentido de promover conflitos cognitivos que levaram os alunos a reverem suas concepções iniciais e conseqüentemente reestruturá-las considerando alguns aspectos como: tempo, distância, constância da velocidade da luz e eventos que ocorrem ao mesmo tempo, essenciais para a compreensão do conceito proposto;
- permitiu mapear as principais dificuldades enfrentadas pelos alunos na construção do conceito de Relatividade da Simultaneidade, sendo a principal, a dificuldade de aceitação de que em um acontecimento, observadores parados com distâncias na ordem de  $10^8$  vêem eventos diferentes;
- Espera-se que os resultados desta pesquisa possam contribuir para as práticas pedagógica dos professores de Física, e auxiliá-los na abordagem do conceito de Relatividade da Simultaneidade e outros conceitos da Física Moderna, eventualmente. Nesse sentido, sugere-se que o aparato experimental seja utilizado com as próximas turmas da disciplina de Introdução à Relatividade do curso de Licenciatura em Física da UFRPE, bem como sejam incentivada a sua aplicação no Ensino Médio por estes futuros professores.

## REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_. *A Teoria do Construto Pessoal*. Recife: UFRPE – Departamento de Educação, 1998.

BASTOS, H. F. B. N. (1992) *Changing teachers' practice: towards a constructivist methodology of physics teaching*. Unpublished PhD thesis. Univesidade de Surrey, Inglaterra.

BEZERRA.G. B. Investigando o desenvolvimento do princípio de interdependência entre os elementos da biosfera, com alunos do ensino fundamental I. (*Curso de Especialização em Ensino das Ciências*) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife- PE: 2005.

BRENNAN. R.P. *Gigantes da Física*. Rio de Janeiro. Editora ZAHAR, 2000

CHAVES, A. *Pensando o Futuro In*:São Paulo: Sociedade Brasileira de Física,2005.

CLONINGER, Susan C. *Teoria da Personalidade*.Tradução C.B. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

EINSTEIN. A *A teoria da Relatividade Especial e Geral*. Rio de Janeiro: Contraponto,1958

GASPAR, A *Física volume 3*. São Paulo Editora Ática, 2000

MAHER, B. *Clinical Psychology and personality: The Selected Papers of George Kelly*. New York, Wiley, 1969.

MEDEIROS R.M.H. *O ensino de propriedades macroscópicas da matéria: Uma abordagem baseada nos aspectos estruturais* (Curso de Especialização em Ensino das Ciências) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE: 2006.

MOSCATI, G. *O que é a Teoria da Relatividade*. São Paulo: Edições Hemus, 2004.

MOURÃO R.R.F. *Explicando a Teoria da Relatividade*. Rio de Janeiro. Ediouro, 1997.

\_\_\_\_\_ Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio*. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Brasília: Ministério da Educação, 1999.

OLIVEIRA, M. M. *Como fazer pesquisa qualitativa*. Recife: Edições Bargaço, 2005.

PEREIRA, G. *Física Moderna para o Ensino Médio*. Recife: UFPE – Departamento de Educação, 2003.

RAMALHO *Os Fundamentos da Física*. Volume 3. São Paulo. Editora Moderna 2003

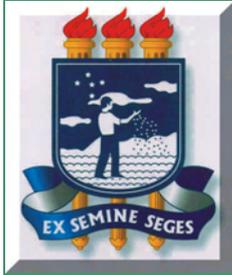
RESNICK, R. *Introdução à relatividade especial*. São Paulo: Polígono, 1968.

RESNICK R. *Introdução a Relatividade Especial*. São Paulo. Tradução de Shigeo Watanabe, 1971.

TIPLER, P *Física*. Volume 4. Rio de Janeiro. LTC – Livros Técnicos e Científicos. Editora – S.A. 1995.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE I



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO      NOVEMBRO-2007  
CURSO DE MESTRADO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS**

**Mestrando: Décio da Silva Melo**

**Turma 2006**

Aluno: \_\_\_\_\_ Período: \_\_\_\_\_

E-mail : \_\_\_\_\_ Fone cel : (81) \_\_\_\_\_

### Questionário:

1º O que você entende por referencial inercial?

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

2º O que você entende por eventos simultâneos?

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3º A simultaneidade é absoluta ou relativa? Explique.

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4º A luz propaga-se através do espaço vazio com uma velocidade definida  $c$  que é independente do estado do movimento do corpo emissor?

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

5º Será que a análise de um mesmo acontecimento é idêntica para dois observadores que tenham diferentes referências?

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

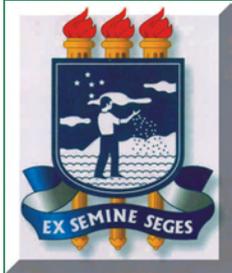
6º A que se refere os postulados de Albert Einstein?

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

7º Ao fotografarmos uma régua graduada, em que as distâncias das extremidades de A e B são diferentes em relação à posição da máquina e do flash, será que a imagem refletida nos pontos A e B chegarão ao filme da máquina ao mesmo tempo?

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## APÊNDICE II



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO      NOVEMBRO-2007  
CURSO DE MESTRADO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS**

**Mestrando: Décio da Silva Melo**

**Turma 2006**

### NOÇÕES DE SIMULTANEIDADE

Para enviar um sinal através do vácuo, de um ponto a outro, tão rápido quanto possível, usamos um feixe de luz ou alguma outra radiação eletromagnética, tal como uma onda de rádio. Jamais foi descoberto um método mais veloz para enviar um sinal. Este fato experimental sugere que a velocidade da luz no vácuo  $c=(3 \times 10^8 \text{ m/s})$ , é uma velocidade de referencia limite apropriada com o qual outras, como as partículas ou de ondas mecânicas podem ser comparadas.

No mundo macroscópico de nossas experiências comuns, a velocidade  $u$  de objetos em movimento ou ondas mecânicas em relação a qualquer observador é sempre menor do que a  $c$ . É nesse meio macroscópico, sempre presente, porém limitado, que as nossas idéias sobre o espaço e o tempo são primeiramente formuladas, e no qual Newton desenvolveu seu sistema de Mecânica. No mundo microscópico é sempre possível encontrar partículas cujas velocidades são bastante próximas à da luz. De fato, a experiência mostra que a Mecânica Newtoniana não prevê a resposta corretas quando é aplicada a tais partículas rápidas. Realmente, na Mecânica Newtoniana não há, em principio, limite para a velocidade que uma partícula possa atingir, tal que a velocidade da luz  $c$  não desempenha nenhum papel especial.

Em 1905, antes que muitas das experiências que discutimos tivessem sido realmente executadas, Albert Einstein (1879-1955), aparentemente desconhecedor de vários dos trabalhos anteriores importantes sobre o assunto, forneceu uma solução para o dilema que fazia frente à Física.

Em seu trabalho “ sobre a Eletrodinâmica de corpos em movimento” Einstein escreveu.... nenhuma propriedade dos fatos observados corresponde ao conceito de repouso absoluto ....para todos sistemas de coordenadas para os quais valem as equações de Mecânica, valem também as equações equivalentes da Eletrodinâmica e Óptica.....a seguir nós fazemos estas suposições (que chamaremos subseqüentemente de Principio da Relatividade) e introduzimos uma hipótese adicional – uma suposição que é, à primeira vista, bastante irreconciliável com a anterior – que a

luz se propaga no vácuo com a velocidade  $c$  independentemente da natureza do movimento do corpo que a emite. Estas duas hipóteses são bastante suficientes para nos dar uma teoria simples e consistente da Eletrodinâmica dos corpos em movimento, baseada na teoria Maxwelliana para os corpos em repouso.

Nós podemos re-expressar estas suposições de Einstein como segue.

1. As leis da Física são as mesmas em todos os sistemas inerciais. Não existe nenhum sistema inercial preferencial. (O princípio da Relatividade).
2. A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor  $c$  em todos sistemas inerciais (O princípio da Constancia da velocidade da Luz).

Há muitas expressões abreviadas na Relatividade que podem facialmente ser mal interpretadas por um leigo. Assim a frase “ relógios em movimento avançam devagar” significa que um relógio que se move com uma velocidade constante relativa a um sistema inercial, contendo relógios sincronizados será encontrado como avançando vagarosamente, quando cronometrado por aqueles relógios. Nós comparamos um relógio em movimento com dois relógios estacionários sincronizados. Aqueles que admitem que a frase significa qualquer outra coisa, muitas vezes encontram dificuldades.

De modo semelhante, muitas vezes nós nos referimos a “ um observador”. O significado deste termo é também bastante definido, mas pode ser mal interpretado. Um observador é na realidade um conjunto infinito de relógios registradores, distribuídos pelo espaço todo em repouso e sincronizados entre si. As coordenadas do espaço-tempo de um evento  $(x,y,z,t)$  são registradas pelo relógio na posição  $(x,y,z)$  do evento no instante  $(t)$  em que ele ocorre. As medidas assim registradas pelo espaço-tempo (podíamos chamá-las de medidas locais) são então disponíveis para serem escolhidas e analisadas por um experimentador. Assim o observador pode, também, ser pensado como sendo um experimentador que recolhe as medidas feitas deste modo.

Cada sistema inercial é imaginado como tendo tal conjunto de relógios de registro ou tal observador. As relações entre as coordenadas do espaço-tempo de um evento físico, medido por um observador  $(S)$  e as coordenadas do espaço-tempo do mesmo evento físico, medido por um outro observador  $(S')$  são as equações de transformação.

Uma noção errônea do termo “observador” surge da confusão entre “medindo” e “vendo”. Por exemplo, tem sido comumente admitido por algum tempo que a contração relativista de comprimento obrigaria rapidamente os objetos em movimento a se tornarem visíveis como sendo encurtados (menores) na direção do movimento. A localização de todos os pontos do objeto, medida ao mesmo tempo, daria a imagem “ verdadeira” de acordo com o nosso uso do termo “observador” na Relatividade. Porém nas palavras de V.F.Weisskopf: Quando vemos ou fotografamos um objeto, nós registramos os quanta de luz emitidos pelo objeto, quando eles chegam simultaneamente à retina ou ao filme fotográfico. Isto implica que este quanta de luz não foi emitido simultaneamente por todos os pontos do objeto. Os pontos mais próximos do observador tem emitido a sua parte da imagem mais cedo do que os pontos mais afastados. Portanto, se o objeto está em movimento, a vista ou fotografia

obtem uma imagem distorcida do objeto, uma vez que este tem estado em diferentes posições, quando partes diferentes dele tem emitido a luz vista na fotografia.

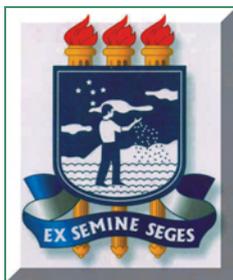
A Física é uma ciência objetiva. Traduzindo esta afirmação por outras palavras, o que é visto por um observador tem de o ser por qualquer outro que esteja em condições de presenciar o mesmo fenómeno. Todavia, cada observador tem liberdade de escolher qual o referencial que mais lhe convém. A objetividade apenas implica ter de haver uma forma de relacionar as observações de todos eles.

Os referenciais não são todos equivalentes. Imaginemos que encontramos-nos num trem movendo-se num movimento retilíneo com velocidade constante. Se o observador que se encontra dentro dele observa uma bola de bilhar presa por um barbante ao teto do vagão e este mesmo vagão encontra-se com as janelas todas fechadas em que o observador não tenha nenhum contato visual com o ambiente externo, poderá este não relatar se o vagão do trem está parado ou em movimento retilíneo uniforme.





## APÊNDICE V



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO NOVEMBRO-2007  
CURSO DE MESTRADO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS

Mestrando: Décio da Silva Melo

Turma: 2006

Aluno: \_\_\_\_\_ Período: \_\_\_\_\_

**Questionário :**

I. Com relação ao aparato experimental pode-se observar 04(quatro) linhas de LED (Diodo Emissor de Luz), o que este representa no estudo análogo da luz?

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

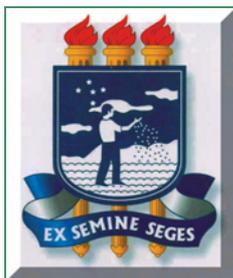
II. Em que coluna na matriz de LED's encontra-se os obstáculos ?

R. Obstáculo 01 → Posição na coluna ( ) Cor do feixe de luz \_\_\_\_\_  
Obstáculo 02 → Posição na coluna ( ) Cor do feixe de luz \_\_\_\_\_  
Obstáculo 03 → Posição na coluna ( ) Cor do feixe de luz \_\_\_\_\_  
Obstáculo 04 → Posição na coluna ( ) Cor do feixe de luz \_\_\_\_\_

III. Considerando-se que cada obstáculo encontra-se muito próximo do outro é possível observarmos o efeito de que um evento pode não ser simultâneo para dois observadores distintos?

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## APÊNDICE VI



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO      NOVEMBRO-2007  
CURSO DE MESTRADO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS

Mestrando: Décio da Silva Melo

Turma: 2006

Aluno: \_\_\_\_\_ Período: \_\_\_\_\_

**Questionário Final:**

8º Qual o seu conceito sobre referencial inercial?

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

9º Com relação ao aparato experimental qual a distância para que o feixe de luz percorresse entre os obstáculos no período de 1segundo?

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

10º O tempo é relativo ou absoluto? Explique.

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

11º A simultaneidade é genuinamente um conceito relativo ou absoluto?

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

12º Um observador localizado no centro de um vagão de um trem que se desloca numa trajetória retilínea com uma velocidade constante próxima a da luz e acontece dois relâmpagos ao mesmo tempo no início e fim do vagão, este observador consegue vê os relâmpagos ao mesmo tempo? Explique.

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

13º É possível que observadores em posições diferentes em relação a um determinado acontecimento veem eventos diferentes. E porque isso é possível?

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

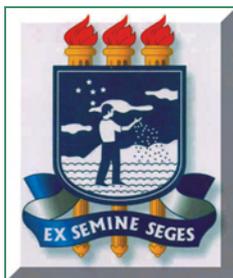
14º Quantos são e a que se refere os postulados de Albert Einstein?

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

15º Ao fotografarmos objetos de grande dimensões e verdade que a imagem refletida no obstáculo ao chegar na película da máquina fotográfica esta irá ser impressa em tempos diferentes para cada ponto na película?

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## APÊNDICE VII



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO      NOVEMBRO-2007  
CURSO DE MESTRADO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS**

**Mestrando: Décio da Silva Melo**

**Turma 2006**

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DO PARTICIPANTE

NOME Sr(a). \_\_\_\_\_

Idade: \_\_\_\_\_ Sexo \_\_\_\_\_ de naturalidade \_\_\_\_\_

Domiciliado em \_\_\_\_\_

De profissão \_\_\_\_\_ e RG \_\_\_\_\_

Foi informado detalhadamente sobre a pesquisa intitulada "Investigar o processo de aprendizagem do conceito de Relatividade da Simultaneidade de licenciando de Física da UFRPE. Através do uso de um aparato experimental".

O(a) Sr(a) foi plenamente esclarecido de que ao responder as questões que compõem esta pesquisa estará participando de um estudo de cunho acadêmico, que tem com objetivo geral deste trabalho é investigar o processo de aprendizagem do conceito de Relatividade da Simultaneidade de licenciando de Física da UFRPE. Através do uso de um aparato experimental.

Embora o(a) Sr(a) venha a aceitar a participação nesta pesquisa esta garantido que o(a) Sr(a).poderá desistir a qualquer momento, inclusive sem nenhum motivo, bastando para isso,informar sua decisão de desistência, da maneira mais conveniente. Foi esclarecido ainda que por ser uma participação voluntária e sem interesse financeiro,o (a) Sr(a) não terá direito a nenhuma remuneração . A participação na pesquisa não incorrerá em riscos ou prejuízos de qualquer natureza.

Os dados referentes ao Sr (a) serão sigilosos e privados sendo que o(a) Sr(a) poderá solicitar informações durante todas as fases da pesquisa, inclusive após a publicação da mesma.

A coleta de dados para a pesquisa será desenvolvida através da participação em debates em grupo, garantindo-se privacidade e a confidência das informações e será realizada pelo mestrando Décio da Silva Melo, sob a supervisão do(a)s Prof.Dr. Ernande Barbosa da Costa, Profª.Dra. Heloisa Flora Brasil Nóbrega Bastos e Profª.Dra.Helaine Sivini Ferreira.

Recife (PE) \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2007

Assinatura ( de acordo )

---

Participante do estudo

## APÊNDICE VIII

### NORMAS PARA PUBLICAÇÃO DE TRABALHOS NO CADERNO BRASILEIRO DE ENSINO DE FÍSICA

1. Nome completo do(s) autor(es) e do(s) estabelecimento(s) onde trabalha(m), com seus respectivo(s) endereço(s), em folha separada do corpo do artigo.
2. Original em três vias.
3. Apresentação de um resumo do respectivo artigo.
4. Apresentação de um resumo em inglês (se possível).
5. Indicação de palavras-chave no idioma do artigo e, se possível, também em inglês.
6. Ilustrações bem nítidas.
7. Fotos em preto e branco.
8. Referência seguido as normas da ABNT, ao final do texto.
9. O artigo deve ter, no Máximo, 25 páginas (em tamanho 14 e pelo mesmo, 18pt).

## APÊNDICE IX

---

### INVESTIGANDO O PROCESSO DE APRENDIZAGEM DO CONCEITO DE RELATIVIDADE DA SIMULTANEIDADE. ATRAVÉS DO USO DE UM APARATO EXPERIMENTAL.

---

Décio da Silva Melo

Departamento de Educação - UFRPE

Ernande Barbosa da Costa, Dr.

Departamento de Educação - UFRPE

Heloisa Flora Brasil Nóbrega Bastos, Dr<sup>a</sup>.

Departamento de Educação - UFRPE

Helaine Sivini Ferreira, Dr<sup>a</sup>.

Departamento de Educação - UFRPE

#### Resumo

A inserção da Física Moderna no Ensino Médio, com seus postulados e modelos teóricos que não podem ser diretamente vivenciados ou demonstrados, trazem dificuldades adicionais para o ensino-aprendizagem de Física. Uma alternativa viável para minimizar os problemas que daí advêm consiste na utilização de experimentos análogos à certos acontecimentos da Física Moderna. Assim, o objetivo deste trabalho foi investigar o processo de construção do conceito de Relatividade da Simultaneidade, através do uso de um aparato experimental, com alunos do Curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Para tanto, foi escolhida a Teoria dos Construtos Pessoais como pressuposto teórico-metodológico, e foi desenvolvido um aparato experimental, envolvendo um circuito eletrônico para controlar uma matriz de LED (Diodo Emissor de Luz), que permitisse analogias com o comportamento de um feixe de luz ao interagir com distintos obstáculos. Os resultados indicaram que o modelo experimental desenvolvido foi determinante no sentido de promover conflitos cognitivos, que levaram os alunos a reverem suas concepções iniciais e, conseqüentemente, reestruturá-las, considerando alguns aspectos, como: tempo, distância, constância da velocidade da luz e eventos que ocorrem ao mesmo tempo, essenciais para a compreensão do conceito proposto; a Relatividade da Simultaneidade.

**Palavra-chave:** Ensino de Física, Relatividade da Simultaneidade, Ciclo da Experiência Kellyana, Aparato Experimental.

## Abstract

The Modern Physics insertion in High School, along with its postulates and theoretical patterns that can't be practiced or demonstrated, brings additional difficulties to the Physics teaching-learning process. A feasible alternative to minimize the problems consists in carrying out experiments analogue to certain events of the Modern Physics. Therefore, the objective of this work was to investigate the construction process of the Relativity of Simultaneity, concept through the use of an experimental apparatus, with students of Physics of Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Thus, it was chosen the Personal Construct Theory as a methodological-theoretical purpose, and it was developed an experimental apparatus, involving an electronic circuit to control a LED (light-emitting diode), matrix that permits analogies with a light beam behavior interacting with different obstacles. The results showed that the developed experimental pattern was decisive concerning the promotion of cognitive conflicts, making students review their initial concepts and consequently, reorganize them, considering some aspects as: time, distance, constancy of the light speed and events that happen at the same time, which are essential to the purpose concept comprehension; The Relativity of Simultaneity.

**Key-words:** Physics Teaching, The Relativity of Simultaneity, Kellyana Cycle of Experience, Experimental Apparatus.

## I. Introdução

Os conteúdos da Física, tanto nos cursos destinados aos Físicos quanto naqueles oferecidos como disciplina de serviços, há muito oferecem uma visão inadequada do quadro atual dessa área do conhecimento, de seu dinamismo e de sua abrangente inserção na ciência e na tecnologia. Tem-se, freqüentemente, a impressão de que Física é algo centrado em roldanas, planos inclinados, piões, circuitos elétricos, lentes etc. Tópicos como Relatividade e Física Quântica, que já completam um século, são classificados como Física Moderna e quase omitidos nas ementas (CHAVES, 2005). Além disso, o Ensino de Física tem se realizado freqüentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores (BRASIL, 1999).

As dificuldades para a abordagem da Física Moderna no Ensino Médio devem-se a escassa confecção de modelos e, conseqüentemente, de aparato experimental que possam auxiliar seu entendimento com o objetivo de reproduzir o comportamento dos eventos da Física Moderna. Assim, visando contribuir com estratégias que possam vir a facilitar sua abordagem, essa pesquisa propõe investigar o processo de construção do conceito de Relatividade da Simultaneidade através de um aparato experimental. Neste caso específico, o modelo teórico representa o modelo dos trens relativísticos de Albert Einstein e refere-se aos referenciais inerciais formulados por ele. Já o aparato experimental, por sua vez, corresponde a um circuito eletrônico controlando uma matriz de LED (Diodo Emissor de Luz) contendo aspectos similares ao modelo teórico.

Nesta pesquisa, utilizou-se como base teórica a Teoria dos Construtos Pessoais – TCP de George Kelly (1963), que permite analisar como o indivíduo constrói o conhecimento. A TCP está estruturada em um Postulado Fundamental e onze Corolários, contudo neste trabalho utilizou-se apenas o Corolário da Experiência, juntamente com o Ciclo da Experiência – CEK, com suas cinco fases: Antecipação,

Investimento, Encontro, Confirmação ou Desconfirmação e Revisão Construtiva. Neste sentido, esta pesquisa propõe investigar em diversas fases do Ciclo da Experiência como as idéias sobre o conceito de Relatividade da Simultaneidade, são alteradas visando uma maior aproximação do conceito científico desejado.

## II. O princípio da relatividade da simultaneidade

A Relatividade do tempo é um conceito de apreensão mais difícil. O universo de Newton pressupunha que um tempo absoluto era marcado por um relógio universal invisível. Se fosse 1:02 na Terra, seria 1:02 em Vênus, Marte ou em qualquer outro lugar do universo. Na perspectiva proposta Einstein, mostrou-se que isso não é verdade. Um dos exemplos que usou para ilustrar suas novas idéias envolve eventos simultâneos. No universo de Newton, era possível afirmar que dois eventos ocorriam simultaneamente porque o tempo absoluto estava sendo medido pelo relógio universal. Einstein nos revelou que essa idéia de tempo absoluto e de eventos simultâneos produz um paradoxo. Se a velocidade da luz for absoluta (constante) sob todas as condições, há algo errado com o conceito newtoniano. (BRENNAN, 2000).

### O tempo é relativo

À primeira vista, pode parecer que estamos tratando de uma contradição puramente lógica. A constância da velocidade da luz, em todas as direções, é uma prova cabal do Princípio da Relatividade. Ao mesmo tempo, a velocidade da luz é, em si, absoluta (MOSCATI, 2004). O motivo da inconsistência das noções clássicas do espaço e de tempo é a suposição incorreta sobre a possibilidade de transmissão instantânea de interação e de sinais de um ponto do espaço para outro. A existência de um limite finito da velocidade de transmissão de interação torna necessária uma mudança profunda das opções habituais de espaço e de tempo, baseadas na experiência cotidiana. O conceito de tempo absoluto, que decorre a um ritmo estabelecido de uma vez para sempre, independentemente da matéria e do tempo, revelou-se incorreto.

### A base experimental da teoria da relatividade especial

Para enviar um sinal através do vácuo, de um ponto a outro, tão rápido quanto possível, usamos um feixe de luz ou alguma outra radiação eletromagnética, tal como uma onda de rádio. *Até o momento não foi descoberto um método mais veloz para enviar um sinal.* Este fato experimental sugere que a velocidade da luz no vácuo,  $c = (3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s})$  (RESNICK, 1971).

No mundo macroscópico de nossas experiências comuns, a velocidade ( $u$ ) de objetos em movimento ou ondas mecânicas em relação a qualquer observador é sempre menor do que  $c$ . É esse meio macroscópico, sempre presente, porém limitado, que as nossas idéias sobre o espaço e o tempo são primeiramente formuladas, e no qual Newton desenvolveu seu sistema de Mecânica (RESNICK, 1971). Já no mundo microscópico é sempre possível encontrar partículas, cuja velocidade são bastante próxima à da luz. De fato, a experiência mostra que a Mecânica Newtoniana não prevê as respostas precisas, quando é aplicada a tais partículas rápidas. Portanto, não importa quão bem a Mecânica Newtoniana possa funcionar às baixas velocidades, ela

falha clamorosamente quando  $\frac{u}{c} \cong 1$  (RESNICK, 1971).

A conexão entre a Mecânica e o Eletromagnetismo não é surpreendente, porque a luz, que desempenha um papel básico na efetuação das medidas fundamentais de espaço e tempo, que formam a base da Mecânica, é um fenômeno eletromagnético. Todavia, o nosso meio Newtoniano de baixa velocidade é tão parte de nossa vida cotidiana que quase qualquer pessoa tem alguma dificuldade conceitual em entender as idéias de Einstein do espaço-tempo, quando as estuda pela primeira vez (RESNICK, 1971).

### III. Teoria dos Construtos Pessoais

A Teoria dos Construtos Pessoais difere de outras teorias psicológicas célebres como a freudiana por focalizar a personalidade individual e seus processos cognitivos, considerando desnecessária a postulação de fatores motivacionais ou impulsionadores que dessem sentido aos atos do indivíduo. Para Kelly a pessoa já é naturalmente ativa e tem suas ações direcionadas pelas sucessivas tentativas de antecipar satisfatoriamente os acontecimentos dos quais participa diariamente. A proposta de Kelly era promover uma abordagem sistêmica de fatores comumente analisados de forma isolada, como fatores cognitivos, motivacionais e emocionais (CLONINGER, 1999).

Kelly desenvolveu sua Teoria dos Construtos Pessoais (TCP) baseado num postulado fundamental, que fornece o embasamento para onze corolários que abordam diversos pontos relacionados aos processos psicológicos individuais. Em cada um destes tópicos, Kelly comenta suas propostas e desenvolve suas idéias sobre a construção da personalidade do indivíduo. O postulado fundamental da TCP é transcrito a seguir (KELLY, 1963, p. 46, tradução livre): “Os processos de uma pessoa são psicologicamente canalizados pelas maneiras a partir das quais ela antecipa eventos”.

Através do Corolário da Experiência no qual: “o sistema de construto de uma pessoa varia à medida que ela constrói, sucessivamente, réplicas de eventos” (KELLY, 1963, p. 72), Kelly (1963) propõe que as mudanças no sistema de construção de um indivíduo são operadas a partir de situações que envolvam experiência. Kelly descreve a experiência como uma construção de eventos, o que significa que não basta testemunhar uma sucessão de episódios, é necessário que haja uma construção e reconstrução dos eventos vivenciados para que possam ser promovidas, então, mudanças conceituais, sejam mudanças de construtos ou mudança nos sistemas de construção (MEDEIROS, 2006).

Assim, em um experimento o indivíduo dirige todos os seus processos psicológicos à procura de temas recorrentes, ou seja, de aspectos regulares que já podem ter sido observados por ele em outros experimentos similares (BASTOS, 1992). Entretanto, Bastos (1998), para ocorrer à aprendizagem, é necessário que a pessoa esteja verdadeiramente engajada nesse processo complexo. Ou seja, os professores não devem esperar que seus alunos mudem suas idéias porque tiveram contanto com um evento, com uma determinada atividade didática. Se eles não estiverem preparados para este evento, se eles não tiverem investido na sua antecipação e se eles não considerarem o que aconteceu de uma forma crítica, nenhuma mudança será observada. Para Kelly (1963), as experiências constituem a própria aprendizagem. Assim como os cientistas usam a experimentação, o processo de aprendizagem dos indivíduos se desenvolve segundo as cinco fases do ciclo da Experiência Kellyana, conforme Figura 01:

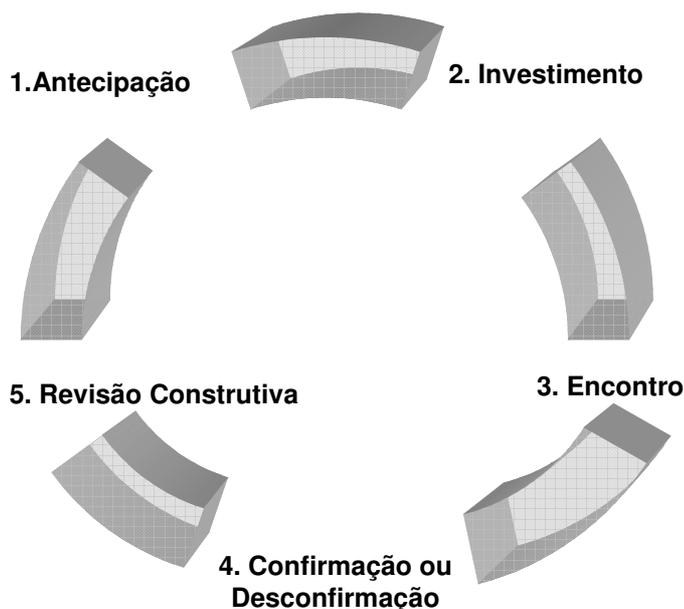


Figura 01: Esquema cíclico que representa as cinco fases do corolário da experiência (Cloninger 1999, p. 428).

As fases do Ciclo da Experiência têm como objetivo, mostrar como a aprendizagem ocorre nesse processo, iniciando com a *Antecipação* em que o indivíduo prever os eventos a serem vivenciados por ele. Após esta etapa o indivíduo passa para fase do *Investimento*, nesta etapa ele procura mergulhar na situação de modo a envolver-se a fundo com os eventos a serem vivenciados. Em seguida passa para fase do *Encontro* no qual terá o contato com os eventos que levará o indivíduo a comparar suas teorias ou hipóteses pessoais, que conduzirá à *Confirmação ou Desconfirmação* das mesmas, seguindo para fase final da *Revisão Construtiva* dos pontos que geraram tal situação.

### O aparato experimental



Figura 02: Fotografia do aparato experimental

A1	<b>A2</b>	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
B1	B2	<b>B3</b>	B4	B5	B6	B7	B8	B9
C1	C2	C3	<b>C4</b>	C5	C6	C7	C8	C9
D1	D2	D3	D4	<b>D5</b>	D6	D7	D8	D9

Figura 03: Esquema da Matriz de LED

### Descrição do aparato experimental

O aparato experimental é composto por uma fonte de alimentação de corrente contínua de 12 volt's, uma matriz de LED (Diodo Emissor de Luz) e dois blocos de circuitos integrados osciladores que tem como função principal fazer que o experimento opere no modo automático e que todo ciclo de observação possa ser feito de forma sincronizada. Também possui módulos amplificadores de corrente que servirão de alimentação para a matriz de LED.

## **Processo de construção**

Embora, inicialmente, tenha-se pensado que a construção de um modelo análogo que correspondesse ao modelo teórico dos referenciais inerciais formulado por Einstein não seria tarefa tão difícil, na prática a realidade se mostrou bem diferente, uma vez que existiam alguns fatores limitantes. Primeiramente, o material experimental deveria ser o mais simples possível, confeccionado com dispositivos disponíveis no comércio e que pudesse facilmente ser reproduzido. Também deveria ser portátil e compacto para facilitar sua utilização em sala de aula.

Além destes fatores limitantes à própria concepção do aparato experimental sofreu várias modificações. No primeiro momento pensou-se em construir um circuito controlado por processadores pré-programados por computadores de alta performance com o intuito de facilitar a combinação de acendimento da matriz de LED. Posteriormente esta idéia foi descartada, devido à dificuldade de reprodução desses processadores pré-programados. Assim, a concepção final está baseada em alguns circuitos osciladores de fácil comercialização.

## **Funcionamento da matriz de LED**

Inicialmente podemos observar na Figura 02 uma matriz de LED, no qual cada linha desta matriz representa o comportamento de um feixe de luz visível ao se chocar com os obstáculos aqui representado pelos LED A2, B3, C4 e D5 Figura 03. Como o aparato experimental foi construído com o intuito de representar o comportamento do feixe de luz visível ao se chocar com 04 obstáculos distintos, optamos para que este fosse representado por linhas de LED com cores também distintas.

Para uma melhor compreensão do funcionamento da matriz de LED, iremos nos limitar ao entendimento do comportamento do feixe de luz ao se chocar com o obstáculo de número 01 (LED A2) na Figura 03, aqui representado na primeira linha desta matriz. Se observarmos o aparato experimental pela vista frontal, e considerarmos que o feixe de luz irá se deslocar no sentido da esquerda para a direita, logo iremos perceber que este feixe representado pelos LED da primeira linha, ao se deslocar com o tempo de um segundo, ao chegar no (LED A2) na Figura 03 que representa o obstáculo de número 01 no aparato experimental, este feixe de luz é refletido voltando para o lado esquerdo e parte é refratada, prosseguindo para o lado direito.

Diante desta situação e considerando que do lado esquerdo do aparato experimental existe um observador de número 01 e do lado direito um segundo observador de número 02, podemos observar através do aparato experimental que a imagem chegará primeiro a retina do olho do observador 01, devido à diferença de distância na qual se encontram os dois observadores em relação ao mesmo obstáculo.

## Princípio de funcionamento

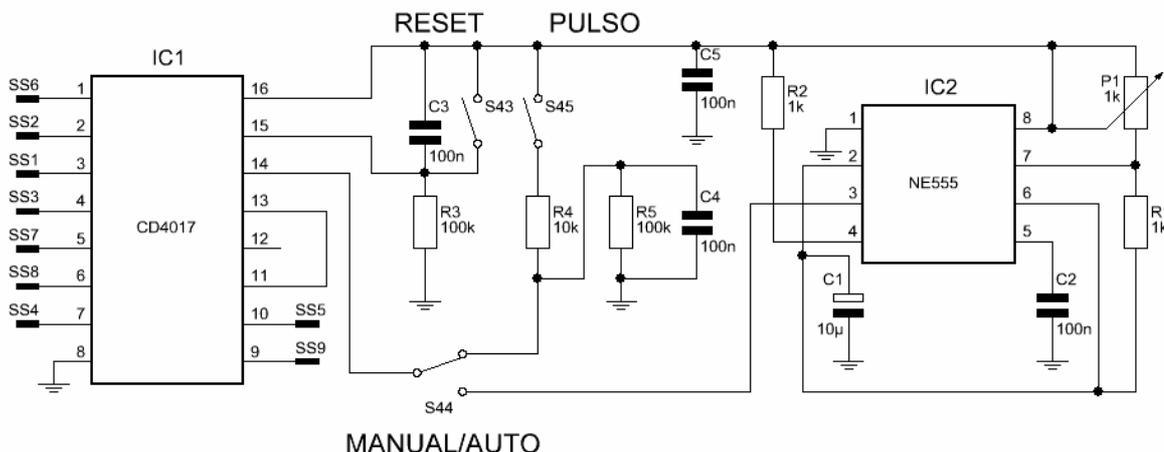


Figura 04: Esquema Elétrico dos Blocos

O circuito acima discriminado foi estruturado com o intuito de sua operação ser o mais didático possível, tendo em vista que o objetivo deste trabalho é observar a influência, de um aparato experimental, no processo de aprendizado dos alunos.

Assim, para fazê-lo funcionar, deve-se inicialmente posicionar a chave S44 na posição manual e em seguida observar a que rede elétrica que iremos ligar o circuito eletrônico, pois, esta deverá ser compatível com a entrada da fonte de alimentação que poderá vir a operar com tensão de 110 Volts ou 220 Volts. Vale salientar que se o circuito aqui apresentado estiver chaveado para uma tensão de 110 Volts e for energizado com uma tensão de 220 Volts teremos danos aos componentes eletrônicos.

Após energizarmos corretamente o circuito eletrônico deve pressionar a chave S43 para levá-lo para o primeiro momento do seqüenciador, ou seja, para o momento 00; em seguida posicionamos a chave S44 para o modo automático e neste momento já podemos observar a seqüência de acendimento dos LED. A velocidade de acendimento poderá ser ajustada, girando o potenciômetro P1 que tem a função de aumentar ou diminuir o intervalo entre cada momento supracitado.

Posteriormente podemos também fazer que o circuito opere no modo manual, bastando para isso virarmos a chave S44 para o modo manual, assim o circuito que tem a função de oscilador automático será desligado, ficando a função do oscilador desligado, para o operador do circuito. Desta forma será necessário pressionar o botão da chave S45 para o circuito mude para o próximo momento.

## Aplicação do aparato experimental em sala de aula

Na aplicação efetiva do aparato experimental e para facilitar o entendimento deste, o pesquisador optou por, inicialmente, trabalhar com apenas a primeira linha de LED do aparato experimental tal como ilustrado na figura 05. O restante da matriz do aparato experimental foi coberta. Essa estratégia foi utilizada com o intuito de facilitar o entendimento do aparato experimental. Assim, os alunos puderam constatar os momentos de acendimento dos LED em relação aos fenômenos de refração e reflexão do feixe de luz.



Figura 05: Fotografia do aparato experimental.

Em seguida o aparato experimental foi apresentado por completo e a turma foi dividida na metade, 10 alunos se posicionaram do lado esquerdo do aparato experimental, enquanto a outra metade se posicionou do lado direito. Tal como ilustrado na figura 06. Os alunos tinham em mãos uma ficha didática para preenchimento durante a realização do funcionamento do aparato experimental, esta tabela funcionou com a finalidade de que cada aluno pudesse anotar o comportamento de acendimento dos LED da primeira coluna para o grupo B e o comportamento da última coluna para o grupo A, com o intuito de facilitar a discussão no momento em que os grupos se formaram posteriormente com alunos que participaram como observador do (lado A), misturado com observadores do (lado B), figura 07 e figura 08.



Figura 06: Layout da dinâmica com o grupo de alunos


**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
 DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO    NOVEMBRO-2007  
 CURSO DE MESTRADO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS

Mestrando: **Décio da Silva Melo**                      Turma 2006  
 Aluno: Robson Francisco                      Período: 6º

**Grupo A**

		1º seg	3.10 <sup>8</sup> m	2º seg	3º seg	4º seg	5º seg	6º seg	7º seg	8º seg	9º seg	
Obstáculo 01	Vermelho											X
Obstáculo 02	Amarelo											X
Obstáculo 03	Verde											X
Obstáculo 04	Azul											X

Figura 07: Ficha de didática para observação do acendimento dos LED (grupo A)


**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
 DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO    NOVEMBRO-2007  
 CURSO DE MESTRADO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS

Mestrando: **Décio da Silva Melo**                      Turma 2006  
 Aluno: RAMON BEZERRA                      Período: 6º

**Grupo B**

		1º seg	3.10 <sup>8</sup> m	2º seg	3º seg	4º seg	5º seg	6º seg	7º seg	8º seg	9º seg	
Obstáculo 01	Vermelho	X			X							
Obstáculo 02	Amarelo	X					X					
Obstáculo 03	Verde	X							X			
Obstáculo 04	Azul	X										X

Figura 08: Ficha de didática para observação do acendimento dos LED (grupo B)

#### IV. Metodologia da intervenção

A pesquisa foi estruturada em torno de uma seqüência didática organizada de acordo com as cinco fases do ciclo da experiência de Kelly: *Antecipação*; *Investimento*; *Encontro*; *Confirmação ou Desconfirmação* e *Revisão Construtiva*. A cada fase do ciclo

foram desenvolvidas algumas atividades Figura 09. O grupo que participou desta pesquisa foi composto por 23 alunos, com faixa etária entre 23 e 39 anos, sendo todos alunos da disciplina do 6º período de Introdução à Relatividade do curso de Licenciatura em Física da UFRPE. Para análise, foram considerados apenas 20 alunos que participaram de 100% das atividades desenvolvidas.

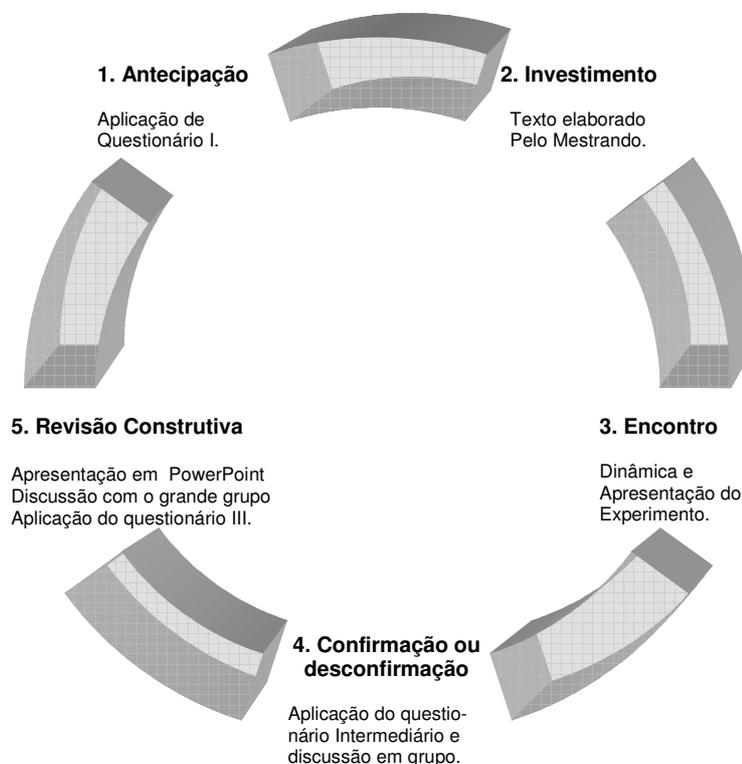


Figura 09: Atividades desenvolvidas segundo o Ciclo da Experiência de Kelly

#### Etapa 1- Antecipação.

Nesta etapa do ciclo da experiência que tem como principal objetivo fazer com que o aluno tenha um primeiro contato com o objeto de estudo. Nesta ocasião, o aluno toma conhecimento do evento a ser vivenciado e constrói alguma réplica deste evento a partir da estrutura do seu sistema de construção. Inicialmente foi fornecido um questionário diagnóstico com 07 (sete) perguntas básicas sobre os conceitos de Relatividade da Simultaneidade (1º questionário), que deverá ter a duração de 20 minutos; tempo necessário para a conclusão das respostas.

#### Etapa 2- Investimento.

Nesta etapa do ciclo que tem como objetivo envolver os alunos na preparação da dinâmica. Dessa forma, seus esforços serão canalizados de maneira mais eficiente para o processo de aprendizagem que se desenrola, caracterizando-se a segunda etapa do ciclo de George Kelly. Nesta ocasião foi fornecido um texto sobre alguns conceitos básicos do princípio da Relatividade da Simultaneidade para cada aluno que realizou uma leitura silenciosa por 30 minutos. Após a conclusão da leitura em seguida aconteceu um debate com a duração de 30 minutos, abordando alguns conceitos básicos sobre a Relatividade da Simultaneidade que estão citados no texto.

### Etapa 3- Encontro

Visando contemplar os conceitos abordados sobre a teoria na etapa 3, e antes de ser apresentado o modelo experimental à turma de alunos, foi iniciada uma dinâmica com 06 (seis) alunos, simulando em um modelo mais simples no qual esses alunos participaram ativamente, de como se propaga a luz em relação a um obstáculo e dois observadores, com duração de 20 minutos. Em seguida o professor da disciplina convidou 02 (dois) grupos para participar como observadores nas respectivas posições no experimento. Este contou com uma matriz de LED (Diodo Emissor de Luz) que representará, como a velocidade da luz se deslocando de forma linear, partindo dos observadores do grupo A e chegando a princípio em quatro obstáculos também representado na matriz de LED.

Os observadores de cada grupo posicionaram-se um de frente para o outro e o experimento ficou entre os dois, dando assim uma visão diferenciada para cada um deles em relação à seqüência de acendimento dos LED, esses que por sua vez estava representando a velocidade da luz até os obstáculos. Neste momento cada aluno dos dois grupos preencheu a sua respectiva tabela grupo A ou tabela grupo B na qual encontra-se uma relação do acendimento dos LED com o fator tempo que teve uma duração de 60 minutos .

### Etapa 4- Confirmação ou Desconfirmação

Essa abordagem do Aparato Experimental demonstrativo foi seguida por uma análise dos seus resultados pelos alunos que vivenciaram o experimento em funcionamento. Em seguida cada dupla pode ter a oportunidade de observar o experimento em funcionamento que se reuniu de forma aleatórias, ou seja, os observadores do lado A misturados com os observadores do lado B, fizeram 05 (cinco) grupos de quatro alunos e os alunos tiveram que responder um questionário com questões de reflexão feito pelo pesquisador (questionário intermediário), sobre quais seriam os aspectos que levaram ao conceito da Relatividade da Simultaneidade com relação ao Aparato Experimental até chegar a um consenso.

### Etapa 5- Revisão Construtiva

Na Revisão Construtiva, na qual o aluno toma conhecimento das mudanças pois sem ele segundo George Kelly, se este não existir não há presença de experiência. Então o grande grupo reuniu-se mais uma vez e o pesquisador conduziu uma discussão, no qual os alunos tiveram a oportunidade de socializar suas conclusões com o auxílio de uma apresentação em PowerPoint. Em seguida cada aluno voltou a responder algumas questões que foram apresentadas no início da atividade (3º questionário).

## **IV. Resultados e discussão**

Nesta seção iremos analisar apenas algumas respostas dadas nos 1º e 3º questionários aplicados. Iremos selecionar tais questionários pelo grau de dificuldade apresentada pelos alunos.

As tabelas 1,2,3 apresentam as respostas dos alunos dadas no 1º questionário na 1ª fase do Ciclo da Experiência (Antecipação) e as tabelas 4,5,6 apresentam as respostas dos alunos no 3º questionário na 5ª fase do Ciclo (Revisão Construtiva)

TABELA 1 – Categorização das respostas referentes à questão 1:  
O que você entende por referencial inercial?

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	ANTECIPAÇÃO	
	Aluno	%
Resultante da força nula (repouso ou movimento retilíneo uniforme)	A12,A17	10,0
Repouso	A4,A8,A15,A18,A19	25,0
Repouso ou Velocidade constante	A1,A11,A13	15,0
II Lei de Newton	A2	5,0
Referencial em movimento	A3	5,0
Ponto de observação	A5,A6,A9,A10,A14, A6,A20	35,0
Evento no mesmo instante	A7	5,0
TOTAL	20	100,0

Analisando as respostas dadas pelos alunos na fase da Antecipação e apresentadas na tabela 1, observa-se que as suas concepções iniciais tendem para pontuar a questão do “Referencial Inercial” que está ligado ao conceito de inércia, e ponto de referência. É interessante notar que essas concepções refletem o que é normalmente abordado nos livros didáticos mais especificamente no terceiro ano do ensino médio no qual é discutido o conceito da Física Moderna.

Na Antecipação 60% das respostas sobre este conceito referem-se a ponto de observação e repouso, sendo que 35% dos alunos têm a concepção de que referencial inercial refere-se a ponto de observação e 25% acham que se relaciona ao repouso; enquanto que 10% têm a concepção de que é um corpo que está em repouso ou movimento retilíneo uniforme.

Observa-se, assim, que os alunos, após terem passado pela fase da Antecipação e diante dessa perspectiva, também percebe-se que estes apresentaram grandes dificuldades na análise da questão, principalmente quando se refere ao conceito de referencial inercial, não conseguiram modificar suas concepções, distanciando-se das definições reproduzidas pelos livros didáticos, relacionando os conceitos de referencial inercial a ponto de referencia e inércia.

TABELA 2 – Categorização das respostas referentes à questão 5:  
Será que a análise de um acontecimento é idêntica para dois observadores que tenham diferentes referenciais?

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	ANTECIPAÇÃO	
	Aluno	%
Não, referenciais diferentes levam interpretações diferentes.	A1,A4,A5,A7,A12,A15,A16,A17,A18,A20	50,0
Não, porque não obedecem as leis da Física clássica.	A2	5,0
Não, só depende do referencial.	A3	5,0
Não, Depende das grandezas envolvidas no acontecimento.	A6	5,0
Não, porque os tempos são diferentes.	A8,A11	10,0
Não	A9,A10	10,0
Não, para grandes velocidades próxima de (c).	A13,A14	10,0
Sim, desde que a análise seja feita com os devidos ajustes.	A19	5,0
TOTAL	20	100,0

Na análise da tabela 2, percebe-se que as respostas dadas pelos alunos à questão poderiam ser enquadradas em mais de uma categoria. 50% dos alunos (A1,A4,A5,A7,A12,A15,A16,A17,A18 e A20) responderam corretamente que referenciais diferentes levam interpretações diferentes ao observador.

O aluno A2, entrou em contradição ao responder na justificativa: “porque não obedecem as leis da Física Clássica” o mesmo aluno em outra tabela, confirma em sua resposta que as leis da Física são as mesmas para referenciais inerciais.

O aluno A3, na fase da Antecipação justificou em sua resposta que só dependeria do referencial envolvido na situação; descartando assim em sua resposta a todas as variáveis envolvidas no acontecimento como: o tempo, o espaço, etc.

A resposta apresentada pelo aluno A6, indicam uma forte influência do senso comum e reprodução das variáveis dos livros didáticos, no qual podemos observar em sua resposta a inexistência de ligações mais próxima para explicar o fenômeno envolvido na questão.

Na fase da Antecipação os alunos A8 e A11, também apresentam em sua justificativas o relacionamento do tempo com o acontecimento, mostrando mais uma vez que as idéias de como isso acontece não estão de forma organizada em suas cabeças.

Os alunos A9 e A10 responderam corretamente, mas não justificaram as suas respostas. Já os alunos A13 e A14 estão com as suas idéias ligadas ao modelo do trem relativístico de Albert Einstein em que os observadores encontra-se em referenciais diferente onde um está parado e outro em velocidade constante próximo a (c), limitando-se a esta única situação.

O aluno A19, na fase da Antecipação, mostrou que não compreendeu o conceito sobre simultaneidade, pois não respondeu corretamente, afirmando que “sim” em sua resposta,

De acordo com a tabela 2, verificou-se que, diante de situações do cotidiano, os alunos nem sempre conseguem relacionar os conceitos científicos vivenciados em sala de aula, apresentando respostas do senso comum e reprodução dos conceitos dos livros didáticos.

TABELA 3 – Categorização das respostas referentes à questão 7:

Ao fotografarmos uma régua graduada, em que as distâncias das extremidades de A e B são diferentes em relação à posição da máquina e do flash, será que a imagem refletida nos pontos A e B chegarão ao filme da máquina ao mesmo tempo?

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	ANTECIPAÇÃO	
	Aluno	%
Não	A1,A6,	10,0
Sim, pois o comprimento da régua é muito pequeno em relação a c	A2,A3,A5,A12	20,0
Não, pois quanto maior a distância, maior o tempo para a luz atingir o filme	A4,A20	10,0
Não devido a variação do tempo	A7	5,0
Não, haverá uma correção relativística do tempo	A8	5,0
Não, porque trata-se de pontos referenciais diferentes	A9	5,0
Não, pois as extremidades da régua encontra-se a distancia diferente do flash	A10,A11	10,0
Não respondeu	A13	5,0
Sim, pois a velocidade da luz é o limite	A14	5,0
Não, devido ao ângulo de observação	A15	5,0
Sim, chega ao mesmo tempo a luz tem a mesma velocidade par qualquer ponto	A16,A18	10,0
Sim, pois na direção do movimento o comprimento se contrai e o tempo se dilata.	A17	5,0
Não, devido à velocidade da luz ser constante e as distancias diferentes o tempo também será diferente.	A19	5,0
TOTAL	20	100,0

Na análise da tabela 3 na fase da Antecipação, verificou-se 35% de acertos (alunos A1,A6,A4,A10,A11,A19 e A20) e 65% de respostas relacionadas a outros conceitos, sendo 20% dessas respostas, mesmo correspondendo a aspectos relacionados com a velocidade da luz que não eram adequados à situação exposta. Dessa forma apesar das respostas não serem corretas, pelo menos, têm relação com o conceito analisado, o que já é um avanço.

Nesta fase apresentada na tabela 3, percebe-se que os alunos também demonstram pouca compreensão à questão, prevalecendo assim, as respostas do senso comum, por sua vez as respostas variadas entram em conflito com o conhecimento científico.

Os alunos (A2,A3,A5,A12,A14,A16,A17 e A18) mostraram que não compreenderam a questão, indicando que o feixe de luz apesar de percorrer distâncias diferentes este chegariam ao mesmo tempo no filme da máquina, prevalecendo mais uma vez a reprodução do que se é observado no dia-a-dia ou seja, o senso comum, que nas cabeças dos alunos tem privilégio sobre o conhecimento científico.

Para essas respostas, percebe-se que o conceito científico da velocidade da luz em relação à distância não foi compreendido, estando as resposta muito ligado ao senso comum.

Diante dessa tabela, percebe-se que a maioria dos alunos deteve suas definições na observação do dia-a-dia, descartando o conceito de que o tempo é relativístico e não absoluto, Assim levando este a não acreditar em suas justificativas na idéia que para distâncias diferentes o feixe de luz irá percorrer esta trajetória em tempos diferentes. Dessa forma, observa-se mais uma vez, que as leituras e discussões sobre os conceitos científicos devem ser priorizadas em atividades didáticas, para que os alunos desenvolvam o senso crítico e o poder de analisar as situações acreditando no conhecimento científico.

### **Análise dos dados do questionário intermediário**

Visando contemplar o entendimento do funcionamento e função análoga de algumas das partes do aparato experimental, foi realizado um questionário intermediário entre a fase do Encontro e Confirmação ou Desconfirmação, com o intuito de facilitar o entendimento do mesmo e suas analogias com a realidade da Física Moderna, mais especificamente, o conceito de Simultaneidade.

A abordagem de cada um destes alunos foi relatada no questionário intermediário com a finalidade de avaliar como o modelo experimental estava estruturado cognitivamente e como eram as analogias entre alguns componentes eletrônicos do aparato e a dinâmica vivenciada previamente. Analisando as respostas apresentadas na questão intermediário (questionário intermediário), percebeu-se que 100% dos alunos conseguiram compreender a funcionalidade da matriz de LED (Diodo Emissor de Luz) que aqui representava o comportamento do feixe de luz ao se chocar com os obstáculos, sendo refratado e refletido.

Percebeu-se, nas respostas apresentadas na questão II, que também 100% dos alunos indicaram corretamente suas respostas, tanto a coluna da matriz de LED nas posições (2, 3, 4 e 5) e as cores (vermelho, amarelo, verde e azul), respectivamente no qual representavam o comportamento do feixe de luz ao se chocar com os quatro obstáculos apresentado no aparato experimental.

Na análise da resposta III, verificou-se que mais uma vez 100% dos alunos responderam corretamente, quanto aos aspectos de eventos ocorrerem de maneira diferente para observadores que estão muito próximo do outro. Estes responderam como: “Sim. Depende do referencial, no qual os observadores encontram-se, isso só é possível com um instrumento de medição de alta precisão, mas não a olho nu”.

Observou-se, assim, que as concepções de todos os alunos se aproximaram significativamente do conceito científico, o que evidência o quanto a vivencia das

dinâmicas, em grupo, e a manipulação do aparato experimental contribuíram para essa evolução.

TABELA 4 – Categorização das respostas referentes à questão 8:  
Qual o seu conceito sobre referencial inercial?

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	REVISÃO CONSTRUTIVA	
	Aluno	%
Resultante das forças nula (repouso ou movimento retilíneo uniforme).	A2,A3,A4,A5,A6,A7,A8,A10, A15,A16,A17,A18,A20	65,0
Repouso ou Velocidade Constante	A1,A11,A12,A13,A19	25,0
Ponto de Observação	A14	5,0
Ponto de Partida	A9	5,0
TOTAL	20	100,0

Na análise da tabela 4, percebe-se que a maioria dos alunos ou seja, 90% das respostas estão relacionada com “resultante das forças nula repouso ou movimento retilíneo uniforme e repouso ou velocidade constante”, mostrando que mudaram as concepções que apresentaram na fase da Antecipação.

Observa-se, assim, que as concepções de todos os alunos, com exceção do aluno A9 e A14, evoluíram no sentido de se aproximar do conceito científico, o que evidencia o quanto à vivência nas fases da Antecipação; Investimento; Encontro; Confirmação ou Desconfirmação contribuíram para essa evolução. Os resultados mostrados na tabela 1 mostram de como eram as idéias dos alunos antes da fase da Revisão Construtiva, em relação ao conceito de referencial inercial.

Os alunos A9 e A14 mostraram que não compreenderam o conceito de referencial inercial, tanto na fase da Antecipação, quanto na fase da Revisão Construtiva, mantendo a resposta como sendo um ponto de observação e ponto de partida respectivamente.

Diante dessa tabela percebe-se que, a maioria dos alunos organizou suas idéias, conseguindo identificar na situação apresentada de como seria a sua concepção sobre referencial inercial. Esse resultado positivo pode ter sido consequência dos alunos terem discutido o conceito de referencial inercial após as dinâmicas em sala de aula e os debates aplicados na fase do Encontro.

TABELA 5 – Categorização das respostas referentes à questão 13:  
É possível que observadores em posições diferentes em relação a um determinado acontecimento vêem eventos diferentes. E porque isso e possível?

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	REVISÃO CONSTRUTIVA	
	Aluno	%
É possível devido à constância da velocidade da luz (c).	A1,A4,A5,A6,A9,A10,A12,A13,A15,A16,A17,A18,A19,A20	70,0
Se a distancia forem a mesma eles vêem os eventos simultâneos.	A2	5,0
Só depende do sistema de referência em que o observador encontra-se.	A3,A7,A11	15,0
Sim, o evento é o mesmo para qualquer referencial inercial.	A8	5,0
Sim, citou o exemplo de lançamento vertical com o sistema em movimento.	A14	5,0
TOTAL	20	100,0

Analisando as respostas apresentadas pelos alunos na tabela 5 observa-se que a maioria explicou a resposta corretamente, no qual 70% dos alunos (A1,A4,A5,A6,A9,A10,A12,A13,A15,A16,A17,A18,A19 e A20), relacionaram a sua resposta com a constância da velocidade da luz.

O aluno A2 apresentou na fase da Antecipação, um aspecto que relacionava o acontecimento com a desobediência das leis da Física, no entanto levando em contradição com as suas respostas posteriores, mas em contra partida nesta fase podemos observar o crescimento deste aluno em relacionar com uma das situações envolvidas para explicar o fenômeno ao responder: “que seria possível se somente se a distância de referencia em que o observador encontrava-se fossem a mesma”, descartando assim que podemos ter uma situação em que dois referenciais inerciais se deslocando em mesmo sentido e com mesma velocidade os observadores vêem o mesmo evento.

Os alunos A3, A7 e A11 apresentaram, na fase da Revisão Construtiva, aspectos relacionados a eventos que não corresponde com a situação explorada. Já os alunos A8 e A14 mostraram que não compreenderam o conceito de Relatividade da Simultaneidade, respondendo que: “Sim. O evento é o mesmo para qualquer referencial inercial” e “ Sim. Citou o exemplo de lançamento vertical com o sistema em movimento” respectivamente as respostas dos alunos A8 e A14 fogem do conceito abordado.

Diante das respostas apresentadas, verificou-se que nas fases do Investimento e Encontro foram fundamentais para as mudanças das concepções dos alunos, pois os mesmos conseguiram apresentarem as respostas de acordo com o conceito científico de porque os eventos não acontecem simultaneamente, chegando a 70% de acertos na fase da Revisão Construtiva conforme a tabela 5.

É interessante notar que os alunos foram aperfeiçoando seus conceitos, a partir da análise de situações com a vivencia do modelo experimental abordado em sala de

aula, acompanhado de debates em relação ao comportamento e funcionamento do experimento.

TABELA 6 – Categorização das respostas referentes à questão 15:  
Ao fotografarmos objetos de grande dimensões e verdade que a imagem refletida no obstáculo ao chega na película da maquina fotográfica, esta irá ser impressa em tempos diferentes para cada ponto na película?

CATEGORIAS DAS RESPOSTAS	REVISÃO CONSTRUTIVA	
	Aluno	%
Sim, pois a velocidade da luz é constante e este chega em tempos diferentes para distancias diferentes.	A1,A4,A5,A7,A8,A11,A12,A14,A15,A18,A19	55,0
Sim, mas e praticamente impossível essa diferença ser vista à olho nu.	A9,A16,A17	15,0
Sim	A2,A6,A13,A20	20,0
Não	A3,A10,	10,0
TOTAL	20	100,0

Analisando as respostas apresentadas nessa questão, percebe-se que 90% dos alunos (A1,A2,A4,A5,A6,A7,A8,A9,A11,A12,A13,A14,A15,A16,A17,A18,A19 e A20) conseguiram compreender o conceito envolvido na questão. Sendo que dentre este 15 % tiveram as suas respostas apesar de corretas não quiseram arriscar as suas justificativas tomando como base o conceito científico envolvido, acreditando e sem desprezar o que seria visto no dia a dia (senso comum). Já os 20% restantes não quiseram justificar as suas respostas, apesar de estarem corretas. Enquanto que 10% não conseguiram, acreditando-se que este dois alunos talvez não tenham participado ativamente de todas as etapas da atividade.

Os alunos A3 e A10 mostraram que não entenderam a questão, indicando que apesar das distâncias serem diferente e a velocidade da luz ser constante essa percorreria distancias diferente com o mesmo tempo. Na análise da tabela 6 observa-se que as idéias do aluno A10 encontram-se de forma desorganizadas, pois este na fase da Antecipação respondeu que “Não, pois as extremidades da régua encontram-se a distâncias diferente do flash”. Já o aluno A3 apresentou certas dificuldades, tanto na fase da Antecipação como na fase da Revisão Construtiva, tendo em vista que continua prevalecendo a idéia do senso comum e descartando o conhecimento científico na justificativa da resposta.

Esse resultado é interessante, uma vez que na fase da Antecipação a maioria dos alunos tentou justificar as suas respostas com conceitos que não estavam ligados diretamente à questão. Apenas o aluno A19 apresentou em sua justificativa na fase da Antecipação que estava em acordo com a resposta quando escreveu que: “só era possível devido à constância da velocidade da luz”.

Diante dessa tabela, percebe-se que a maioria dos alunos deteve-se nas definições dos debates e envolvimento com o aparato experimental, não acreditando em suas

justificativas das idéias do senso comum sobre a questão. Dessa forma, observa-se mais uma vez, como na tabela 6, que os aparatos experimentais e debates com os grupos, incluindo o professor da disciplina sobre os conceitos científicos devem ser priorizados em atividades didáticas, para que os alunos desenvolvam as suas idéias e as organizem, ficando o senso crítico como base de poder criar um aluno cientista.

## V. Conclusões

Tendo em vista os objetivos propostos inicialmente, podemos dizer que a pesquisa, em questão, foi realizada com sucesso uma vez que:

- o aparato experimental propiciou uma visão do fenômeno, distinta da abordagem tradicional que é observada nos livros didáticos, contribuindo para a estruturação de práticas mais significativas para os alunos no que diz respeito ao conceito de Relatividade da Simultaneidade;
- o aparato experimental desenvolvido e as dinâmicas que auxiliaram sua compreensão foram determinantes no sentido de promover conflitos cognitivos que levaram os alunos a reverem suas concepções iniciais e conseqüentemente reestruturá-las considerando alguns aspectos como: tempo, distância, constância da velocidade da luz e eventos que ocorrem ao mesmo tempo, essenciais para a compreensão do conceito proposto;
- permitiu mapear as principais dificuldades enfrentadas pelos alunos na construção do conceito de Relatividade da Simultaneidade, sendo a principal, a dificuldade de aceitação de que em um acontecimento, observadores parados com distâncias na ordem de  $10^8$  vêem eventos diferentes;
- Espera-se que os resultados desta pesquisa possam contribuir para as práticas pedagógica dos professores de Física, e auxiliá-los na abordagem do conceito de Relatividade da Simultaneidade e outros conceitos da Física Moderna, eventualmente. Nesse sentido, sugere-se que o aparato experimental seja utilizado com as próximas turmas da disciplina de Introdução à Relatividade do curso de Licenciatura em Física da UFRPE, bem como seja incentivada a sua aplicação no Ensino Médio por estes futuros professores.

## Referências

\_\_\_\_\_. *A Teoria do Construto Pessoal*. Recife: UFRPE – Departamento de Educação, 1998.

BASTOS, H. F. B. N. (1992) *Changing teachers' practice: towards a constructivist methodology of physics teaching*. Unpublished PhD thesis. Univesidade de Surrey, Inglaterra.

BRENNAN. R.P. *Gigantes da Física*. Rio de Janeiro. Editora ZAHAR, 2000

CHAVES, A. *Pensando o Futuro In*:São Paulo: Sociedade Brasileira de Física,2005.

CLONINGER, Susan C. *Teoria da Personalidade*. Tradução C.B. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

KELLY, G.A. *A theory of personalidade: the psychology of personal constructs*. New York: Norton, 1963.

MEDEIROS R.M.H. *O ensino de propriedades macroscópicas da matéria: Uma abordagem baseada nos aspectos estruturais* (Curso de Especialização em Ensino das Ciências) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE: 2006.

MOSCATI. G. *O que é a Teoria da Relatividade*. São Paulo: Edições Hemus, 2004.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio*. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Brasília: Ministério da Educação, 1999.

RESNICK R. *Introdução a Relatividade Especial*. São Paulo. Tradução de Shigeo Watanabe, 1971.

**(1º QUESTIONÁRIO)****QUESTIONÁRIO APLICADO NA FASE DA ANTECIPAÇÃO**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO      NOVEMBRO-2007  
CURSO DE MESTRADO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS**

**Mestrando: Décio da Silva Melo**

**Turma 2006**

Aluno: \_\_\_\_\_ Período: \_\_\_\_\_

E-mail : \_\_\_\_\_ Fone cel : (81) \_\_\_\_\_

**Questionário:**

1º O que você entende por referencial inercial?

2º O que você entende por eventos simultâneos?

3º A simultaneidade é absoluta ou relativa? Explique.

4º A luz propaga-se através do espaço vazio com uma velocidade definida  $c$  que é independente do estado do movimento do corpo emissor?

5º Será que a análise de um mesmo acontecimento é idêntica para dois observadores que tenham diferentes referências?

6º A que se referem os postulados de Albert Einstein?

7º Ao fotografarmos uma régua graduada, em que as distâncias das extremidades de A e B são diferentes em relação à posição da máquina e do flash, será que a imagem refletida nos pontos A e B chegarão ao filme da máquina ao mesmo tempo?

## (TABELA GRUPO A)

## TABELA APLICADA NA FASE DA CONFIRMAÇÃO OU DESCONFIRMAÇÃO



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
 DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO      NOVEMBRO-2007  
 CURSO DE MESTRADO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS

Mestrando: Décio da Silva Melo

Turma 2006

Aluno: \_\_\_\_\_ Período: \_\_\_\_\_

## Grupo A

		1º seg	3.10 <sup>8</sup> m	2º seg	3º seg	4º seg	5º seg	6º seg	7º seg	8º seg	9º seg	
Obstáculo 01	<b>Vermelho</b>											
Obstáculo 02	<b>Amarelo</b>											
Obstáculo 03	<b>Verde</b>											
Obstáculo 04	<b>Azul</b>											



## (QUESTIONÁRIO INTERMEDIÁRIO)

QUESTIONÁRIO APLICADO NA FASE DA CONFIRMAÇÃO OU  
DESCONFIRMAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO      NOVEMBRO-2007  
CURSO DE MESTRADO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS

Mestrando: Décio da Silva Melo

Turma: 2006

Aluno: \_\_\_\_\_ Período: \_\_\_\_\_

## Questionário :

IV. Com relação ao experimento pode-se observar 04(quatro) linhas de LED (diodo emissor de luz), o que este representa no estudo análogo da luz?

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

V. Em que coluna na matriz de LED's encontra-se os obstáculos ?

R. Obstáculo 01 → Posição na coluna ( ) Cor do feixe de luz \_\_\_\_\_  
Obstáculo 02 → Posição na coluna ( ) Cor do feixe de luz \_\_\_\_\_  
Obstáculo 03 → Posição na coluna ( ) Cor do feixe de luz \_\_\_\_\_  
Obstáculo 04 → Posição na coluna ( ) Cor do feixe de luz \_\_\_\_\_

VI. Considerando-se que cada obstáculo encontra-se muito próximo do outro é possível observarmos o efeito de que um evento pode não ser simultâneo para dois observadores distintos?

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**(3º QUESTIONÁRIO)****QUESTIONÁRIO APLICADO NA FASE DA REVISÃO CONSTRUTIVA**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO      NOVEMBRO-2007  
CURSO DE MESTRADO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS**

**Mestrando: Décio da Silva Melo**

**Turma: 2006**

**Aluno:** \_\_\_\_\_ **Período:** \_\_\_\_\_

**Questionário Final:**

- 8º Qual o seu conceito sobre referencial inercial?
- 9º Com relação ao experimento qual à distância para que o feixe de luz percorresse entre os obstáculos no período de 1segundo?
- 10º O tempo é relativo ou absoluto? Explique.
- 11º A simultaneidade é genuinamente um conceito relativo ou absoluto?
- 12º Um observador localizado no centro de um vagão de um trem que se desloca numa trajetória retilínea com uma velocidade constante próxima a da luz e acontecem dois relâmpagos ao mesmo tempo no início e fim do vagão, este observador consegue vê os relâmpagos ao mesmo tempo? Explique.
- 13º É possível que observadores em posições diferentes em relação a um determinado acontecimento vêem eventos diferentes. E porque isso é possível?
- 14º Quantos são e a que se referem os postulados de Albert Einstein?
- 15º Ao fotografarmos objetos de grande dimensões e verdade que a imagem refletida no obstáculo ao chega na película da maquina fotografica esta irá ser impressa em tempos diferentes para cada ponto na película?

**ANEXOS**

## ANEXO I

### MATERIAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO

- Placa de circuito impresso em fibra de vidro (20cm \* 20cm)
- 09 Led's de 50milimetro na cor vermelha
- 09 Led's de 50milimetro na cor amarela
- 09 Led's de 50milimetro na cor verde
- 09 Led's de 50milimetro na cor azul
- 01 Transformador de 220/110 Volts p/ 12 Volts e 1000 miliamper
- 08 Diodos 1N4007
- 01 Capacitor de 16 Volts e 1000 mF
- 01 CI NE555
- 01 CI CD4017
- 06 CI ULN 2004
- 46 Diodos 1N4148
- 01 Chave H-H
- 02 Botões
- 01 Potênciometro
- 40 Strap de 03 posições
- 03 Capacitor Eletrolítico de 100 microF
- 08 Capacitores poliéster 100 nanoF
- 01 TIP 7805
- Conector p/ plug banana
- 02 Resistores de 10 Ohm
- 02 Resistores de 1000 Ohm
- 01 Resistores de 1500 Ohm
- 01 Resistores de 470 Ohm
- 42 Resistores de 390 Ohm
- 01 Led 2 milimetro

## ANEXO II

### **INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA NA MONTAGEM E TESTES:**

- Osciloscópio Analógico Modelo OS9020G GOLSTAR
- Freqüencímetro Digital Modelo 5300A HP
- Multímetro Digital Modelo 35XP METERMAN
- Multímetro Analógico Modelo ET2022 MINIPA
- Estação de Soldagem Digital Modelo ESD-900-220 INSTRUTERM
- Softwares Utilizados: Multissim 2001, SPRINT LAYOUT 5.0 e SPLAN 6.0
- Kit para corrosão em placa de circuito impresso

### ANEXO III

#### As transformações de Lorentz através dos Postulados da Relatividade Restrita

- 1º. Postulado: As leis da física são as mesmas, independentemente dos referenciais (inerciais e não inerciais).
- 2º. Postulado: A velocidade da luz é constante independente da fonte luminosa.

Seja 2(dois) sistemas inerciais conforme mostra a figura 02

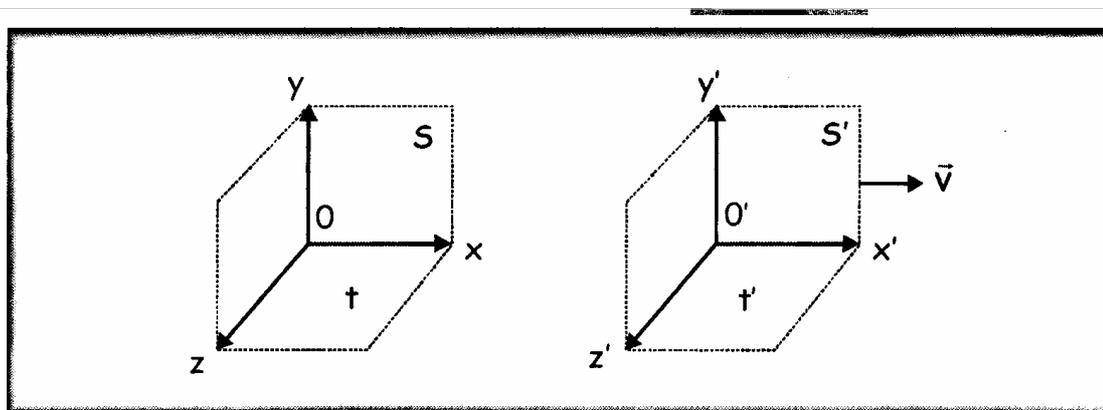


Figura 02: Sistemas de referências inerciais com movimento relativo de velocidade  $v$

Do ponto de vista do sistema de referencia S a medida de  $O'P'$  (em S) =  $x-vt$

Agora façamos o mesmo do ponto de vista de  $S'$  para  $O'P'$  (em  $S'$ ) =  $x'$

Para a mecânica clássica ou pelo principio de relatividade de Galileu temos que:

$O'P'$  (em S) =  $O'P'$  (em  $S'$ ); mas. Podemos supor um fator de correção  $\alpha$  o que nos leva á:

$$x = \alpha \cdot (x' + v \cdot t)$$

Agora, façamos o mesmo procedimento para medir  $OP'$  do ponto de vista de S e de  $S'$ .

$$\begin{aligned} OP'(\text{em } S) &= x \\ OP'(\text{em } S') &= x' + v.t' \end{aligned}$$

Novamente, pelo princípio de relatividade de Galileu a medida de  $OP'$  (em S) deveria ser igual a  $OP'$  (em  $S'$ ).

Mas, Einstein imaginou um fator de correção para essa igualdade. É fazendo uso do 1º Princípio da relatividade restrita ele concluiu que

$$OP'(S) = \alpha \cdot OP'(S')$$

Ou seja:

$$\begin{aligned} OP'(S) &= \alpha \cdot OP'(S') \\ O'P'(S) &= \alpha \cdot O'P'(S') \end{aligned} \quad \longrightarrow \quad \text{Eq. 3}$$

Pelo 1º Princípio o fator de correção é igual para as duas situações.

Se a velocidade  $v$  dos sistemas de referencial não afetasse a física do problema, os cálculos levariam Einstein ao valor de  $\alpha = 1$

Das equações **3**, podemos escrever:

$$\begin{aligned} x' &= \alpha \cdot (x - v.t) \\ x &= \alpha \cdot (x' + v.t') \end{aligned} \quad \longrightarrow \quad \text{Eq. 4}$$

Agora aplicando o seu 2º. Princípio, Einstein escreveu que:

$$x = c \cdot t$$

$$x' = c \cdot t'$$

Substituindo as equações 4 em 3 obtemos:

$$ct' = \alpha \cdot (t \cdot c - t \cdot v) \quad \longrightarrow \quad \text{Eq. } \underline{5}$$

$$ct = \alpha \cdot (t' \cdot c + t' \cdot v)$$

Multiplicando uma pela outra teremos:

$$c^2 \cdot t' \cdot t = \alpha^2 \cdot (c^2 \cdot t \cdot t') - (v^2 \cdot t \cdot t')$$

$$c^2 = \alpha^2 \cdot (c^2 - v^2) \Rightarrow \alpha^2 \cdot (c^2 - v^2) = c^2$$

$$\alpha^2 = \frac{c^2}{c^2 - v^2}$$

Então:  $\alpha = \frac{c}{\sqrt{c^2 - v^2}}$

Voltando para a 1º. Equação 5 e explicando o valor de  $t'$ , ou seja

$$c \cdot t' = \alpha \cdot (c \cdot t - v \cdot t) \quad \Rightarrow \quad t' = \frac{\alpha}{c} \cdot (c - v \cdot t)$$

$$t' = \alpha \cdot \left( t - \frac{v \cdot t}{c} \right) \quad \Rightarrow \quad t' = \alpha \cdot \left( 1 - \frac{v}{c} \right) \cdot t$$

O que nos permitiu escrever as famosas transformações de Lorentz, obtidas das transformações de Galileu modificada como sendo:

$$X' = \alpha \cdot (x - v.t)$$

$$T' = \alpha \cdot \left(1 - \frac{v}{c}\right) \cdot T$$

$$\alpha = \frac{c}{\sqrt{c^2 - v^2}} \quad \text{ou} \quad \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

## ANEXO IV

### A contração de Lorentz

Vejam agora as conseqüências dos postulados da Teoria da relatividade especial, para as medidas de comprimentos. Na relatividade, o comprimento de uma barra padrão, medido ao longo da direção do movimento, é variável, pois depende da velocidade do observador. Observadores em movimento, irão sempre medir um comprimento menor ou igual aquele medido por um observador em repouso. Este fenômeno chama-se contração do comprimento ou do espaço, que é uma conseqüência da dilatação temporal (CHESMAN C. 2004)

Para demonstrarmos este fato, consideremos as extremidades de uma barra de comprimento  $L$  na figura 03. Pelas transformações de Lorentz, temos que o comprimento da barra medida pelo observador no referencial  $S'$  é dada por:

$$\text{Em } S : L = x_2 - x_1$$

$$\text{Em } S' : L' = x_2' - x_1'$$

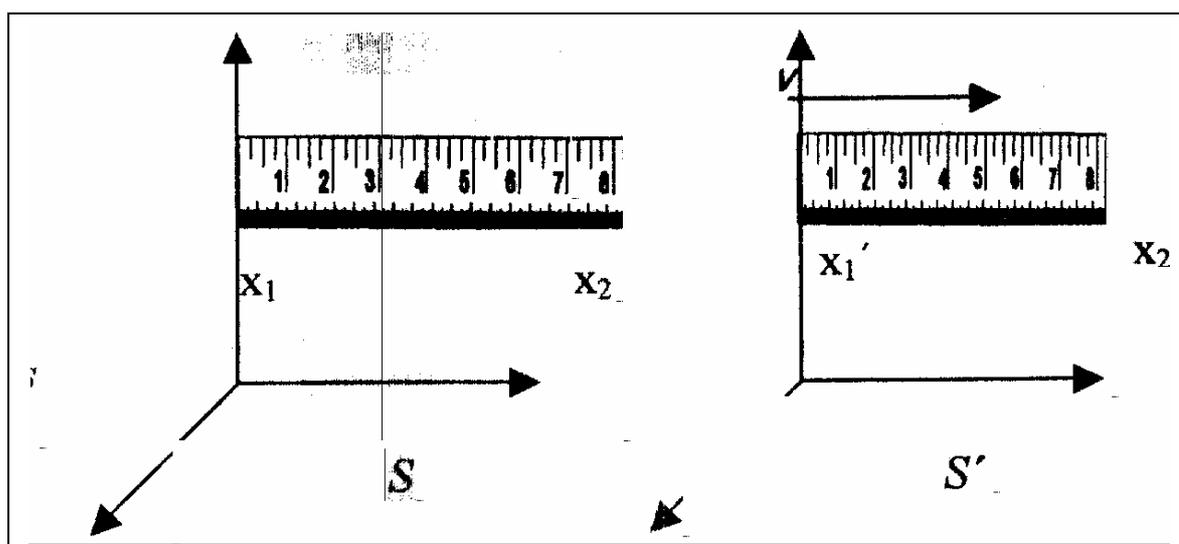


Figura 03: Régua contraindo em dois sistemas inerciais

Aplicando as transformações de Lorentz, temos:

$$x_1' = \alpha \cdot (x_1 - v \cdot t_1) \quad \text{e} \quad x_2' = \alpha \cdot (x_2 - v \cdot t_2)$$

Se medirmos a barra em um dado instante  $t_1 = t_2 = t$  ( se fixarmos um tempo único), teremos:

$$x_1' = \alpha \cdot (x_1 - v \cdot t) \quad \text{e} \quad x_2' = \alpha \cdot (x_2 - v \cdot t)$$

$$\text{Fazendo a diferença temos: } x_2' - x_1' = \alpha \cdot (x_2 - v \cdot t - x_1 - v \cdot t)$$

$$x_2' - x_1' = \alpha \cdot (x_2 - x_1) \quad \text{e} \quad \text{como} \quad L' = x_2' - x_1' \quad \text{e} \quad L = x_2 - x_1$$

Chegamos a conclusão que  $L' = \alpha \cdot L$

Se uma barra tiver comprimento  $L_0$  medido em  $S'$ , terá comprimento  $L$  em  $S$ , dado por:

Sabendo-se que:

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{Então}$$

$$L = \frac{L_0}{\alpha} \quad (\text{contração do comprimento})$$

Então podemos observar que se colocarmos em um referencial em repouso Vera uma barra ter seu comprimento reduzido pelo fator alfa ( $\alpha$ ) (Pereira, 2003).

Exemplo:

Qual o comprimento de uma barra de 1 metro, com 90% da velocidade da luz, ao ser medido por um observador em repouso?

$$\text{Temos: } L = \frac{L_0}{\alpha} = 1\text{m} \cdot \sqrt{1 - v^2/c^2} = 1\text{m} \cdot \sqrt{1 - (0,9)^2} \cong 0,435 \text{ m}$$

Assim, uma barra, a esta velocidade, teria se contraído de 1 metro para 0,435 metros.

Teoricamente, um corpo que chegasse a ter a velocidade da luz, teria um comprimento zero. Iria desaparecer, pois o conceito de comprimento deixaria de existir, fazendo com que se coloque a velocidade da luz como um limite Máximo para a existência do mundo físico (Pereira, 2003).