

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**INSTITUTO DE FÍSICA**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM FÍSICA**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL DE ENSINO DE FÍSICA (MNPEF)**

**LUCAS RODRIGUES SILVA**

**ESPAÇO-TEMPO EM MECÂNICAS**  
**CRÍTICA À ABORDAGEM USUAL DOS LIVROS DIDÁTICOS E UMA PROPOSTA DE UEPS**  
**PARA O ENSINO MÉDIO**

**BRASÍLIA**

**2020**

LUCAS RODRIGUES SILVA

## ESPAÇO-TEMPO EM MECÂNICAS

CRÍTICA À ABORDAGEM USUAL DOS LIVROS DIDÁTICOS E UMA PROPOSTA DE UEPS  
PARA O ENSINO MÉDIO

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

Orientador: Prof. Dr. Ronni Geraldo Gomes de Amorim.

Coorientador: Prof. Dr. Ademir Eugênio de Santana.

BRASÍLIA  
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade de Brasília  
Biblioteca Universitária

---

RSI586e Silva, Lucas Rodrigues.

ESPAÇO-TEMPO EM MECÂNICAS Crítica à Abordagem Usual dos Livros Didáticos e uma Proposta de UEPS para o Ensino Médio / Lucas Rodrigues Silva. – Brasília, 2020.  
112 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física, Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), Brasília, 2020.

Orientação: Prof. Dr. Ronni Geraldo Gomes de Amorim.

Coorientação: Prof. Dr. Ademir Eugênio de Santana.

1. Espaço-Tempo. 2. Mecânica Relativística. 3. Mecânica Não-Relativística. 4. Ensino Médio. 5. Aprendizagem Significativa. I. Título.

CDD 530

---

LUCAS RODRIGUES SILVA

## ESPAÇO-TEMPO EM MECÂNICAS

CRÍTICA À ABORDAGEM USUAL DOS LIVROS DIDÁTICOS E UMA PROPOSTA DE UEPS  
PARA O ENSINO MÉDIO

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

Aprovada em 17/01/2020.

### BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Ronni Geraldo Gomes de Amorim (Orientador)  
Universidade de Brasília (UNB)

---

Prof. Dra. Adriana Pereira Ibaldo (Membro Interno)  
Universidade de Brasília (UNB)

---

Prof. Dr. Rendisley A. dos Santos Paiva (Membro Externo)  
Secretaria de Educação do Distrito Federal (SEEDF)

*À minha esposa, aos meus avós, aos meus pais,  
às minhas irmãs, aos meus sobrinhos, aos meus  
amigos e aos meus alunos.*

*“A entropia há de vencer. Mas, continuarei lutando!”  
(Santana, A. E.).*

## AGRADECIMENTOS

Grato à Deus pelo dom da vida, pelo seu amor infinito, sem ele nada sou. Mesmo sem merecer, ele colocou pessoas maravilhosas da minha vida.

Como já dizia Albert Einstein: “Se, a princípio, a ideia não é absurda, então não há esperança para ela”. E eu jamais chegaria até aqui. Minha eterna gratidão a todos aqueles que tornaram meu sonho uma realidade.

À minha esposa, Sabryna Mayara, por todo amor, carinho e paciência que tem me dedicado, por estar sempre orando por mim, sempre me apoiando nas minhas decisões e também por ser tão compreensiva. Estando sempre ao meu lado, seu apoio foi muito importante para a conclusão desta etapa.

Agradeço aos meus pais, Antônio Luis e Teresinha Rodrigues, meus maiores exemplos. Obrigada por cada incentivo e orientação, pelas orações em meu favor, pela preocupação para que estivesse sempre andando pelo caminho correto. Obrigado por estarem ao meu lado sempre! Porque vocês sempre me apoiaram para que eu não desistisse de caminhar. Ainda que em passos lentos, é preciso caminhar para chegar à algum lugar.

Aos meus avós paternos João Gomes e Marieta Silva, que por mais distantes que pudéssemos estar nunca deixaram de depositar confiança e apoio em mim.

As minhas irmãs Eliane, Lidia e Luciana, pelo incentivo, nossa convivência diária; eu não seria o mesmo sem vocês ao meu lado. Muito obrigado, minhas queridas irmãs por todo amor e carinho, eu amo vocês!

À tia Eugênia e ao seu Pedro, meus sogros maravilhosos que sempre torceram pelo meu sucesso.

Aos meus amados amigos Plínio e Cláudia que me apoiam desde o início quando tudo ainda era só um sonho. E que os tenho como uma segunda família.

Aos meus sobrinhos Ketley, Matheus, Felipe, Pedro, Eduarda, Maria Luiza, Heloíse, Adam, Caroline, Matheus Henrique e Gabriel.

Aos meus amigos Alexandro Paiva, Laísa, Diones, Isabel, Virgínia, Halley, Salomon, Lívia, Danny, Dayane Vit, Samantha, Wellington, Yuri C., Samuel, Pinas, Carlos Henrique, Hedler, Diomaique, Ítalo, T. Amorim, T. Guimarães, Ethan, João E., Maxwell, Clécio, Elissando, Wirton, Tone, Mestre Renato, Helena, Júlio, Glícia, Patrícia, Wesley, Wagner, Roberta, Susan, Nilson, Elziane, Hugo, Heliana, Kellen, Anderson, Thayanne, Elinton, Iaramara, Claudmir, Márcia Maia, Karol, Lorena, Petronilo, Renato, Ioda, Carol, Flavinho, Erivânia, Flávio e Rozana.

À Ellainy, que desde o primeiro resultado do vestibular me apoiou, e que a tenho como uma segunda mãe.

Ao Carlão, que mais do que um amigo, me acolheu como um filho e tanto me ensinou.

À Camila Viviane, que me mostrou que todos os dias podemos repensar sobre o que nos propomos à fazer.

Ao professor Ronni, por todo apoio e auxílio, que dedicou do seu tempo para me orientar neste trabalho.

Ao professor Ademir (Berti), que com muita paciência e atenção, dedicou do seu tempo para me coorientar neste trabalho. Além disso, tanto tem me inspirado.

Aos caríssimos professores Fátima Verdeaux, Fábio Lima, Pedrosa, Adriana Ibaldo, Antonni, Marcello, Ivan, Wytler e José Leonardo, seus ensinamentos têm ultrapassado os limi-

tes do profissional: conduta, caráter e exemplo. Neste curso eu aprendi muito mais que ser um físico, e os senhores são uns dos grandes responsáveis por isso.

Aos meus colegas de turma 2017/2, Wellington, Kitéria, Francisca, Giovanni, Alessandro e Renato.

Aos meus colegas de turma 2018/1, Alex Sander, Clenilsson, Neto, Guilherme, Wendell, Michel, Esdras e Eduardo.

À todos meus alunos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Essa conquista eu compartilho com vocês com muita alegria, pois fazem também parte dessa vitória.

## RESUMO

Inúmeros trabalhos têm apontado uma clara preocupação com a prática docente, ao sinalizarem a necessidade da amplificação das fontes para a aquisição de novas metodologias frente ao cenário educacional. Ao mesmo tempo, verifica-se que o material didático utilizado no Brasil, não tem oferecido uma boa abordagem conceitual. Dessa maneira, o presente trabalho foi desenvolvido com base na teoria da aprendizagem significativa (TAS), proposta por Ausubel (1968), junto à uma sequência didática no formato de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) tratada por Moreira (2011). Sendo assim, o conteúdo desenvolvido, tratou dos conceitos mecânicos iniciais, pois observa-se que os livros didáticos de referência, tanto de uso escolar quanto de uso acadêmico não os têm passado de maneira satisfatória. Desse modo, apresentamos um caminho plausível para alcançar esse entendimento, além de mostrar que não precisa haver a separação entre as mecânicas newtoniana e a relativística, visto que tais conceitos são afastados completamente ao longo do ensino médio. Nesse contexto, a sequência didática desenvolvida foi aplicada em uma instituição de ensino da rede particular do Distrito Federal, junto à uma turma da 1ª série do ensino médio, contendo em média 30 alunos. Para tanto, utilizamos como instrumento de coleta de dados, a produção textual dos alunos e a construção de mapas conceituais, que foram avaliados através de uma pesquisa qualitativa. Assim, ao desenvolver uma UEPS tratando de conceitos mecânicos, observamos uma prática possível para o ensino de física, ao utilizar de uma estratégia didática diferente do uso cotidiano, mostrando que física não se trata somente da resolução de excessivos problemas matemáticos, pois sua validade se encontra no entendimento da fenomenologia.

**Palavras-chave:** Espaço-Tempo. Mecânica Relativística. Mecânica Não-Relativística. Ensino Médio. Aprendizagem Significativa.

## ABSTRACT

Numerous studies have pointed out a clear concern with teaching practice, as they signal the need to amplify sources for the acquisition of new methodologies in the educational scenario. At the same time, it appears that the didactic material used in Brazil, has not offered a good conceptual approach. Thus, the present work was developed based on the Theory of Meaningful Learning (TML), proposed by Ausubel (1968), along with a didactic sequence in the format of a Potentially Meaningful Teaching Unit (PMTU) dealt with by Moreira (2011). Thus, the content developed, dealt with the initial mechanical concepts, as it is observed that the reference textbooks, both for school and academic use, have not passed them satisfactorily. In this way, we present a plausible path to achieve this understanding, in addition to showing that there need not be a separation between Newtonian mechanics and relativistic mechanics, since such concepts are completely separated high school. In this context, the didactic sequence developed was applied in a private educational institution in the Federal District, together with a class from the 1st grade of high school, with an average of 30 students. For that, we used as a data collection instrument, the students' textual production and the construction of conceptual maps, which were evaluated through a qualitative research. Thus, when developing a UEPS dealing with mechanical concepts, we observe a possible practice for the teaching of physics, using a didactic strategy different from everyday use, showing that physics is not only about solving excessive mathematical problems, because its validity is found in understanding phenomenology.

**Keywords:** Space-Time. Relativistic Mechanics. Non-Relativistic Mechanics. High School. Meaningful Learning.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Livros analisados. . . . .	27
Tabela 2 – Organização da aplicação da sequência. . . . .	52
Tabela 3 – Relação unidade de medida e objeto escolhido. . . . .	59
Tabela 4 – Dimensões da sala. . . . .	59
Tabela 5 – Medidas dos ciclos. . . . .	61
Tabela 6 – Velocidade das bolinhas de gude. . . . .	61
Tabela 7 – Velocidade das bolinhas de gude com as unidades dos grupos. . . . .	62

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Figura 3. s: espaço do móvel no instante t. . . . .	28
Figura 2 – Figura 4. . . . .	28
Figura 3 – Figura 6. $\Delta s = s_2 - s_1$ :variação de espaço ou deslocamento escalar. . . . .	28
Figura 4 – Movimento progressivo. . . . .	29
Figura 5 – Movimento retrógrado. . . . .	30
Figura 6 – Movimento acelerado. . . . .	30
Figura 7 – Movimento retardado. . . . .	30
Figura 8 – Ilustração da posição nos eixos cartesianos. . . . .	31
Figura 9 – Ilustração da possibilidade de mudança de posição nos eixos cartesianos. . . . .	32
Figura 10 – Ilustração da posição nos eixos cartesianos. . . . .	33
Figura 11 – A variação do espaço entre t1 e t2. . . . .	33
Figura 12 – Distância percorrida = $ \Delta s $ . . . . .	34
Figura 13 – Distância percorrida = $ \Delta s_{ida}  +  \Delta s_{volta} $ . . . . .	34
Figura 14 – Movimento acelerado. . . . .	35
Figura 15 – Movimento retardado. . . . .	35
Figura 16 – Movimento Uniforme. . . . .	35
Figura 17 – figura 2.8-a: A posição do carro no instante $t = 0$ é $d = 30$ Km, e no instante $t = 1$ h é $d = 80$ Km. . . . .	37
Figura 18 – figura 2-1: A posição de um objeto é indicada em relação a um eixo marcado em unidades de comprimento (metros, por exemplo), que se estende indefinidamente nos dois sentidos. O nome do eixo, que na figura é x, aparece sempre no lado positivo do eixo em relação à origem. . . . .	38
Figura 19 – Transformação de Galilei. . . . .	45
Figura 20 – Transformação de Lorentz. . . . .	46
Figura 21 – Transparência utilizada na apresentação. . . . .	56
Figura 22 – Barbantes utilizados pelos grupos. . . . .	58
Figura 23 – Pêndulos utilizados pelos grupos. . . . .	60
Figura 24 – Bolinhas de gude utilizadas pelos grupos. . . . .	60
Figura 25 – Simulador utilizado. . . . .	62
Figura 26 – Simulador mostrando a diferença entre os tempos dos eventos. . . . .	62
Figura 27 – Exemplo de mapa conceitual nº 1. . . . .	63
Figura 28 – Exemplo de mapa conceitual nº 2. . . . .	63

Figura 29 –Mapa conceitual construído nº 1. . . . .	64
Figura 30 –Mapa conceitual construído nº 2. . . . .	64
Figura 31 –Mapa conceitual construído nº 3. . . . .	65

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>17</b>
2.1	Aprendizagem Significativa Crítica	17
2.2	A Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)	19
2.3	A Pesquisa Qualitativa	23
2.3.1	Produção Textual	24
2.3.2	Mapas Conceituais	24
<b>3</b>	<b>CONCEITOS MECÂNICOS: ENTRE O POSTO E O PROPOSTO</b>	<b>26</b>
3.1	Ensino de Mecânica nos Livros Didáticos	26
3.2	Estruturação das Teorias do Movimento	39
3.2.1	O Mundo Heurístico	39
3.2.1.1	Espaço Heurístico	40
3.2.1.2	O Tempo ao Longo do Tempo	41
3.2.1.3	Tempo Heurístico	42
3.2.1.4	Movimento Heurístico	43
3.2.2	Simetrias do Movimento	44
3.3	Crítica ao Ensino de Mecânica	47
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA APLICADA</b>	<b>49</b>
4.1	A Sequência Didática Estruturada	49
<b>5</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO</b>	<b>54</b>
5.1	Investigando os Conhecimentos Prévios	54
5.2	Utilizando um Organizador Prévio	56
5.3	As Situações-Problema	57
5.4	A Avaliação Somativa	65
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>68</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>70</b>
	<b>APÊNDICE A</b>	<b>73</b>
	<b>APÊNDICE B</b>	<b>110</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história da humanidade, a busca pelo entendimento acerca do movimento das coisas permitiu uma melhor compreensão do mundo que nos cerca. Através desta mesma inquietação, não só obtiveram domínio sobre o fogo, como também amplificaram suas concepções sobre o universo; possibilitando sua ida à lua, e lhes permitiu consolidar a sociedade moderna com toda a sua tecnologia. Logo, para se alcançar tais feitos, foi indispensável o desenvolvimento da Física em toda sua extensão.

Usualmente, o primeiro contato formal que o estudante da educação básica tem com a Física ocorre no nono ano do ensino fundamental, no qual a disciplina de Ciências da Natureza é repartida em Física e Química. No que concerne à Física, geralmente inicia-se com a apresentação de algumas grandezas relacionadas ao estudo do movimento. Dentre essas grandezas, destaca-se a apresentação dos conceitos de tempo e espaço.

Em vista disso, muitos são aqueles que se preocupam com o ensino de física, sobretudo com os conceitos de mecânica. Gobara (2003) traz uma perspectiva de mudança de concepção dos conceitos mecânicos através do uso de programas computacionais. Guerra, Braga e Reis (2007) propõem uma possível abordagem para o ensino de mecânica relativística. Fonseca (2013) sugere o uso de um laboratório virtual, para se trabalhar alguns conceitos mecânicos de maneira experimental. Moreira (2015) faz uso de experimentos de baixo custo, para se alcançar os alunos ao se ensinar mecânica. Santos e Sasaki (2015) utilizam de uma metodologia ativa, para se ensinar mecânica para jovens e adultos. Santos, Balthazar, Huguenin (2017) sugerem uma sequência didática com vídeo análise sobre cinemática para o ensino médio. Dantas e Perez (2018) trazem através da gamificação, uma perspectiva lúdica para se ensinar mecânica. Logo, a preocupação com que se deve ter ao ensinar mecânica torna-se pertinente. Porém, isto claramente não se apresenta como uma tarefa fácil.

Em meio a esse processo, muitas são as tentativas de falar ou definir espaço e tempo. Ao chegar ao ensino médio, o movimento passa ser estudado em dois momentos totalmente distintos. Assim, ao longo do primeiro ano, o estudo ocorre numa perspectiva clássica, na qual trata de fenômenos de baixas velocidades. Ao término do terceiro ano, há um enfoque relativístico estudando no regime de altas velocidades. Entretanto, ambos os regimes (altas e baixas velocidades), são apresentados de maneira bastante confusa aos alunos. A exemplo disso, Nicolau, Torres e Penteado (2017), ao tratarem do conceito de espaço, se delimitam apenas a uma distância percorrida ao longo de uma trajetória. Nesse cenário, os conceitos de espaço e tempo, apesar de serem fundamentais para toda ciência, sobretudo para as mecânicas clássica e relativística, ora são introduzidos de forma abstrata, visando somente a resolução de problemas

(MARTINS, 2007); ora são tomados como algo já conhecido por todos (SOUZA, ZANETIC e SANTOS). Dessa forma, os conceitos físicos passam a ser vistos pela grande maioria dos alunos como algo excessivamente abstrato e difícil, em que o que é visto em sala de aula não tem a menor necessidade para a vida cotidiana.

Os alunos aguardam ansiosamente o momento em que todo aquele conteúdo teórico, apresentado como simplificações tiradas diretamente do cotidiano, ganhe realismo e lhes capacite a melhor entender o ambiente em que vivem. Porém, em geral, este momento nunca chega. (PIETROCOLA, 2001. p.19).

Uma discussão aprofundada sobre a evolução histórica desses conceitos, bem como as diferentes maneiras que eles foram medidos com o passar do tempo, é raramente apresentada, principalmente na educação básica. Essa negligência se deve em parte pela escassez de materiais didáticos voltados ao público da educação básica. Nesse sentido, a pesquisa que conduziu a esta dissertação foi direcionada a abordar essa problemática, de forma que foi confeccionada uma sequência didática cuja temática é voltada aos conceitos de tempo e espaço na mecânica newtoniana e relativística. A culminância do projeto foi a aplicação da sequência didática numa escola de ensino médio localizada em Brasília.

Na busca por uma diferenciação dos materiais didáticos usualmente utilizados na educação básica, nos quais o conhecimento é apresentado de maneira mecânica e com pouco significado, procuramos elaborar a sequência didática seguindo os pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), preconizada por David Ausubel. O nosso objetivo ao conceber o material didático é que o estudante se sinta protagonista no processo ensino-aprendizagem, e, mais que isso, perceba a ciência como algo inacabado, cuja construção é realizada de forma compartilhada por todos aqueles que sintam-se preparados e inspirados a ajudar ao próximo e às futuras gerações, ao mesmo tempo que qualifica o ensino de física.

Dessa maneira, a sequência didática confeccionada na forma de uma UEPS (Unidade de Ensino Potencialmente Significativa) conduz o estudante na construção dos conceitos de tempo e espaço de forma contextualizada, disponibilizando atividades lúdicas, nas quais o estudante se torna autor da construção do conhecimento, assimilando melhor os conceitos a ele apresentados. Assim, ao tratar dos conceitos básicos da mecânica, utilizamos o trabalho de Santana (2019), “Espaço, Tempo e Estruturas das Teorias do Movimento”, bem como o de Santana e Simon (2015), “Constitutive Elements of Non-Abelian Gauge Theories”, Santana e Simon (2019), “Causation, Symmetry and Time Irreversibility”, e também Santana e Simon (2019), “Laszlo Tisza, 110 years: Origins of the Modern Thermal Physics”. Sendo, portanto, tais conceitos tratados de forma apropriada, ao passo que conferem validade à proposta, por meio dos dados coletados.

A apresentação desta dissertação é baseada nos seguintes pontos: no capítulo dois

apresentamos o referencial didático, no qual temos a apresentação da teoria da aprendizagem significativa proposta por David Ausubel, como subsídio teórico-pedagógico para a construção desse trabalho e esclarecer sobre a aprendizagem significativa crítica de Marco Antônio Moreira. Então, ainda no segundo capítulo, temos a apresentação do que vem a ser uma UEPS, tratando seus principais elementos. No capítulo três, na primeira seção, temos uma apresentação de como os conceitos mecânicos são apresentados em alguns livros didáticos de referência. Em seguida, há a apresentação de caminho possível para se construir os conceitos da mecânica de maneira consistente, e, por fim, uma crítica ao que foi desenvolvido nas duas primeiras seções do terceiro capítulo. No capítulo quatro, apresentamos a metodologia da sequência didática. No capítulo cinco, fizemos o tratamento dos dados coletados durante a aplicação da sequência. No capítulo seis, temos as considerações finais acerca do trabalho desenvolvido e, em seguida, as referências bibliográficas. Por último, nos apêndices, trazemos o produto educacional elaborado como parte da construção deste trabalho, e ainda um texto tratando dos elementos constitutivos de uma mecânica.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A escolha do referencial teórico se edifica sobre o fato de que para que haja uma aprendizagem é extremamente importante que seja valorizado aquilo que o indivíduo traz consigo. Deste modo, faz-se que o indivíduo seja um sujeito ativo na construção do seu aprendizado. Assim, a Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS), de <sup>1</sup>David Ausubel, vai de encontro a prerrogativa tomada, sendo descrita na seção a seguir, cabendo ainda pontuar sobre a Aprendizagem Significativa Crítica de <sup>2</sup>Marco Antônio Moreira

### 2.1 Aprendizagem Significativa Crítica

O processo de aprendizagem tem se mostrado extremamente complexo. Muitos tentaram entender o mecanismo pelo qual o ser humano aprende, produzindo-se metáforas que, de certa forma, deram um viés de compreensão a este robusto processo. Nesse sentido, o mecanismo da aprendizagem parece estar diretamente associado ao conhecimento prévio do aprendiz. Nas palavras de Postman e Weingartner, se um indivíduo não sabe muito sua capacidade de aprender não será muito grande (1960, p. 62). Para Moreira (2005), o conhecimento prévio é, isoladamente, a variável que mais influencia a aprendizagem.

Assim, David Ausubel propõe uma inovadora teoria cognitiva para a aprendizagem – a chamada aprendizagem significativa. Para Ausubel, aprendizagem significativa é a interação cognitiva entre o novo conhecimento e o conhecimento preexistente na estrutura cognitiva do aprendiz (Novak, 1977). Em outras palavras, o processo de aprendizagem só será significativo se a nova informação se ancorar (fixar/incorporar) no conhecimento prévio que o indivíduo já possui, na qual Ausubel chama o conhecimento prévio de subsunçores, ou conceitos subsunçores.

Dessa forma, Ausubel (1968) percebe que a informação é altamente organizada no cérebro, formando uma hierarquia conceitual na qual os elementos conceituais mais específicos se ligam/ancoram a elementos conceituais mais básicos, os subsunçores, de modo que o processo de aprendizagem exige um conceito subsunçor da parte do aprendiz. Desse modo, a

---

<sup>1</sup>David Ausubel (1918-2008), graduou-se em Psicologia e Medicina, doutorou-se em Psicologia do Desenvolvimento na Universidade de Columbia, onde foi professor no Teacher's College por muitos anos; dedicou sua vida acadêmica ao desenvolvimento de uma visão cognitiva à Psicologia Educacional.

<sup>2</sup>Marco Antônio Moreira, é Licenciado em Física (1965), Mestre em Física (1972) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)/Brasil e Doutor em Ensino de Ciências (1977) pela Cornell University/USA. É editor da revista Aprendizagem Significativa em Revista desde 2011. Já publicou 263 artigos em periódicos, 137 trabalhos completos em anais de congressos, 56 livros e 7 capítulos de livros. É coordenador da Comissão de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF/PROFIS) desde 2013. Pesquisador Sênior do CNPq desde 2015.

aprendizagem poderá ocorrer se o professor conseguir distinguir quais subsunçores o aprendiz possui para, a partir daí, ensinar em consonância com eles.

Em contraposição à aprendizagem significativa, Ausubel (2003) define a aprendizagem mecânica, na qual as novas informações têm pouca ou nenhuma relação com conceitos subsunçores do aprendiz. Neste processo, a informação é memorizada de maneira absolutamente arbitrária, literal e não significativa, de modo que tudo ou quase tudo do que foi armazenado se perderá com o tempo. Este tipo de aprendizagem, surpreendentemente, ainda é muito utilizado nas escolas e tem por objetivo apenas “passar nos exames”, sejam eles quais forem. <sup>3</sup>Paulo Freire chamou esse tipo de aprendizagem de educação bancária, porque o professor simplesmente ‘deposita’ o conhecimento na “cabeça” do aluno, sem relação alguma com o conhecimento prévio deste ou mesmo sua realidade.

A educação que se impõe aos que verdadeiramente se comprometem com a libertação não pode fundar-se numa compreensão dos homens como seres vazios a quem o mundo “encha” de conteúdo; não pode basear-se numa consciência especializada, mecanicistamente compartimentada, mas nos homens como “corpos conscientes”. (FREIRE, 2015, p. 94).

Diante do já exposto, e considerando que a aprendizagem mecânica deve ser desprezada na busca de um processo de ensino/aprendizagem significativo, no âmbito da educação formal, Ausubel (1968) propõe o uso de organizadores prévios, ou seja, estratégias para organizar os subsunçores em virtude do que se deseja ensinar.

Nesse contexto, para Ausubel e Robinson (1969), é fundamental que a informação a ser aprendida pelo aluno seja relacionável à sua estrutura cognitiva, de maneira não arbitrária e não literal. Ou seja, deve haver (ou serem criados) os necessários subsunçores para que a nova informação seja aprendida. Igualmente fundamental é a disposição do aprendiz de querer relacionar (ou incorporar) à sua estrutura cognitiva, de maneira substantiva e não arbitrária, a nova informação. Em outras palavras, o aluno tem que querer aprender, caso contrário, o máximo que se conseguirá, mesmo tendo todos os pressupostos da aprendizagem significativa, é a memorização arbitrária e não literal, de forma que a aprendizagem tenderá a ser essencialmente mecânica.

Sendo assim, é em favorecimento da disposição do aluno em aprender que surge o conceito de aprendizagem significativa crítica. Assim, o termo aprendizagem significativa crítica pode ser brevemente interpretado como a perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela (Moreira, 2005).

Essa é a ideia que Postman e Weingartner versaram ao usar a expressão ‘subversivo’

---

<sup>3</sup>Paulo Reglus Neves Freire (Recife, 19 de setembro de 1921 — São Paulo, 2 de maio de 1997) foi um educador e filósofo brasileiro. É considerado um dos pensadores mais notáveis na história da pedagogia mundial, tendo influenciado o movimento chamado pedagogia crítica. É também o Patrono da Educação Brasileira.

no título de sua obra (Postman e Weingartner, 1969). Em outras palavras, a aprendizagem significativa crítica desenvolve no aluno a capacidade de estar inserido numa sociedade pluralista, sob a ótica de uma certa cultura, sem ser por ela subjugado. É por meio desse tipo de aprendizagem que o aluno conseguirá lidar, construtivamente, com as transformações sem deixar-se levar por elas.

Entretanto, construir uma aprendizagem significativa realmente crítica, subversiva, não é tarefa fácil e exige ações no sentido de subsidiá-la. Inicialmente, como já citado, o conhecimento prévio do aprendiz é condição indispensável para a aprendizagem. Igualmente, o aprendiz deve querer aprender, pois como já vimos, esta indisponibilidade do aluno resultaria numa aprendizagem mecânica.

Também, verifica-se que a utilização de um único livro texto tem se mostrado uma prática deformadora, pois diminui a criticidade do aluno, uma vez que o livro se torna a única autoridade sobre o assunto. Em contraposição a isso, o uso de artigos científicos e múltiplos materiais didáticos podem representar melhor a produção e a diversidade do conhecimento humano, induzindo um senso crítico necessário para uma aprendizagem significativa crítica.

## **2.2 A Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)**

Paralelo ao processo escolar, vivenciado por professores e alunos, bem como toda a comunidade escolar está o planejamento de cada disciplina, em que não se pode deixar de lado a criticidade, o dinamismo e sempre que possível ser revisado e melhorado.

[...] planejamento é processo de busca de equilíbrio entre meios e fins, entre recursos e objetivos, visando ao melhor funcionamento de empresas, instituições, setores de trabalho, organizações grupais e outras atividades humanas. O ato de planejar é sempre processo de reflexão, de tomada de decisão sobre a ação; processo de previsão de necessidades (...) visando à concretização de objetivos, em prazos determinados e etapas definidas, a partir dos resultados das avaliações (PADILHA, 2001 apud BAFFI, 2002, p. 30).

Dessa maneira, o processo pedagógico deve estar edificado sobre um planejamento hábil e uma organização adequada, desde a escolha dos conteúdos até a forma que se deseja ensinar para os alunos. Para isto, foi escolhida uma sequência didática, que está pautada na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), como é o caso da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS).

A UEPS, apresentada por Moreira (2011), trata-se de uma sequência de ensino que caminha de mãos dadas com a aprendizagem significativa, contrastando o formato de educação atual que geralmente é muito mecanicista.

Assim, a UEPS tem por finalidade o aprimoramento das unidades de ensino de forma que possa vir a facilitar a aprendizagem significativa de pontos particulares de um deter-

minado conhecimento, sob a luz filosófica, de que para haver ensino, exige-se imediatamente a comprovação de que houve aprendizagem, sendo esta significativa disseminada por Ausubel. Mesmo tratando a respeito da aprendizagem significativa de Ausubel, a UEPS utiliza outras teorias, como as teorias educacionais desenvolvidas por Novak e Gowin, a perspectiva sociointeracionista de Vygotsky, os campos conceituais de Vergnaud, os modelos mentais tratados por Johnson-Laird, além da aprendizagem significativa crítica de Moreira.

Para que se possa vir a construir uma UEPS, é solicitado que sejam respeitados determinados princípios, sendo eles:

- Conhecimento prévio é a variável mais importante (Ausubel);
- Pensamentos, sentimentos e ações estão integrados no ser que aprende (Novak);
- É o aluno quem decide se quer aprender significativamente (Ausubel, Gowin);
- Organizadores prévios fazem a ligação entre os novos conhecimentos e os prévios (Ausubel);
- As situações-problema dão sentido a novos conhecimentos (Vergnaud);
- As situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade (Vergnaud);
- Frente a uma nova situação, deve-se construir um modelo mental dessa situação (Johnson-Laird);
- A diferenciação progressiva e a reconciliação integradora devem ser levadas em conta na organização do ensino (Ausubel);
- A avaliação deve buscar evidências da aprendizagem significativa (Ausubel);
- O professor deve organizar o ensino e mediar a captação dos significados pelos alunos (Vergnaud; Gowin);
- A interação social e a linguagem são fundamentais para a captação de significados (Vygotsky; Gowin);
- Uma relação de ensino deve envolver alunos, professores e materiais educativos (Gowin);
- A aprendizagem deve ser significativa e crítica (Moreira).

Em meio ao processo construtivo da UEPS, Moreira (2011) indica oito passos para a construção de uma UEPS:

#### **Definir o tópico específico a ser abordado:**

Neste passo, cabe ao aplicador UEPS definir qual assunto será tratado durante aplicação. Ele pode optar por um assunto, por exemplo velocidade média, ou ainda optar pelo capítulo inteiro de cinemática.

#### **Criar ou propor situações que levem o aluno a externar seu conhecimento prévio:**

Aqui se faz necessário a utilização de meios ou métodos para que o aluno possa mostrar ao professor o que já sabe, logo isto pode se dar por discussões, mapas conceituais, questionários, dentre outros. Vale pontuar que a execução deste processo não é tão simples pois esta ação se trata de um mapeamento cognitivo dos alunos, em que deve ser levado em conta se o que está sendo externalizado é útil para o aprendizado do novo conteúdo e se está de acordo como o que a ciência e a comunidade dizem. Ausubel (2003) destaca que os conhecimentos prévios que os estudantes levam para a sala de aula são explicações práticas para os objetos e fenômenos, sendo na maioria das vezes pouco elaborados, precisando serem identificados e levados em consideração pelo professor.

**Propor situações-problema, em um nível introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno:**

Este passo pede ao aplicador que após verificar o que o aluno tem de “bagagem”, isto é, de conhecimento prévio, em que o aplicador pode inserir uma situação-problema de menor abstração para ligar com o que quer ser aprendido. Esta situação-problema não pode ser pautada em livros ou afins, mas que esteja coerente com o conteúdo da UEPS, lembrando que neste momento o conteúdo ainda não deve ser ensinado ou explicado para que o aluno possa perceber a situação e estabelecer suas próprias relações via seus subsunçores. Este momento é de grande importância, pois as primeiras internalizações acerca do conteúdo vão surgindo e se conectando com o que ele já sabia; por isto, é imprescindível que a situação-problema seja acessível, assim o aplicador pode fazer uso de vídeos, situações cotidianas e etc.

**Após as situações iniciais, apresentar o conhecimento levando em conta a diferenciação progressiva:**

Para a execução desta etapa, o aplicador deve dar início a explicação do conteúdo a ser desenvolvido na UEPS, mas não esquecer de fazer uso da diferenciação progressiva, em que o conteúdo pode ser exposto em uma esfera mais geral e em seguida indo de encontro ao caráter mais específico do conteúdo utilizando sempre que possível demonstrações e exemplos, os quais podem ser via vídeos e ou animações, algum texto ou artigo sobre o tema, ou ainda, através de uma aula expositiva (em momento nenhum a aula tradicional pode ser vista como algo abominável, mas sim como um dos meios possíveis para se chegar ao aprendizado do aluno).

Logo após a exposição do conteúdo, o professor pode propor atividades em que os alunos fiquem em grupos, a fim de favorecer a troca de conhecimentos entre os mesmos e ao término da atividade, o professor proponha uma discussão, reforçando a troca de conhecimentos. É importante ficar claro que toda e qualquer atividade desenvolvida deve sempre ser mediada pelo professor.

**Retomar os aspectos mais gerais, porém em nível mais alto de complexidade, propondo novas situações-problema:**

Neste momento, cabe ao aplicador fazer a “reconciliação integradora” em que, há uma retomada do conteúdo em seus pontos mais gerais, mas reapresentando em uma maior complexidade. É importante sempre fazer esta revisita, pois é através dela que os subsunçores são sedimentados, e os meios para que isto ocorra podem ser os mesmos citados anteriormente. Então, o aplicador deve propor novas situações-problema que estejam em um grau maior de complexidade, mas ainda tratando do mesmo conteúdo abordado na UEPS. Em seguida uma nova atividade pode ser proposta aos alunos para que façam um novo compartilhamento de conhecimentos.

**Concluir a unidade propondo novas situações-problema, mais uma vez em níveis mais altos de complexidade:**

Para concluir, o professor enquanto aplicador, faz novamente uma revisita nos conceitos tratados mais uma vez utilizando sua esfera mais geral, apresentando novos significados e, em seguida, propõe uma nova situação-problema em um nível maior de complexidade, e sempre que for necessário o professor pode propor novas situações-problema nas quais serão progressivamente diferenciados, retomados via reconciliação integradora, para que este ciclo favoreça sempre a ancoragem de novos subsunçores ou ainda de subsunçores que usem futuramente. É importante que, ao término de cada situação-problema, haja uma atividade em que seja favorecida a troca de conhecimentos e novamente mediada pelo professor.

**A avaliação da UEPS deve ser feita ao longo de toda sua implementação, devendo ser realizada uma avaliação somativa ao final, buscando evidências de aprendizagem significativa:**

Em uma UEPS, a avaliação não pode ser o ponto final do processo de aprendizagem, mas sim um elemento que ocorre ao longo do processo. Para isto, tudo que os alunos construírem (mapas conceituais, esquemas, textos, etc.) ao longo da aplicação da sequência pode ser avaliado. Cabe também, ao concluir da UEPS, uma avaliação somativa (texto, teste, etc.) que permita ao professor verificar a compreensão e que evidencie o entendimento do aluno sobre o tema tratado na sequência. A UEPS só é considerada exitosa se a avaliação fornecer evidências de aprendizagem significativa.

Desta forma, ao seguir estes passos propostos, cabe ao aplicador da UEPS procurar maneiras que proporcionem uma diversificação de estratégias e materiais de ensino, trabalhando de maneira que propicie sempre o diálogo e crítica, além de favorecer o questionamento a respeito das respostas prontas.

### 2.3 A Pesquisa Qualitativa

Entre as inúmeras atribuições de um professor, está o processo ou ato de avaliar seus alunos. Tal processo, exige uma preocupação clara com a maneira de se avaliar o indivíduo ou indivíduos que estão sendo avaliados. Deste modo, é imprescindível que, assim como o professor, os processos sejam sempre reinventados para melhor atender aos alunos, cujo o processo irá implicar diretamente na caminhada dentro da instituição escolar.

Assim, ao tratar como um processo a prática de avaliação, é necessário que não haja adoção ou valorização de um único mecanismo para tal, possibilitando uma amplificação acerca das oportunidades em que favoreça-se ao aluno apresentar o que aprendeu. Muito embora tratado como a linha de chegada de cada conteúdo, o processo avaliativo nunca pode ser um ponto final na aquisição do conhecimento, mas um elemento que o acompanha durante o processo.

[...] A prática da avaliação nas pedagogias preocupadas com a transformação deverá estar atenta aos modos de superação do autoritarismo e ao estabelecimento da autonomia do educando, pois o novo modelo social exige a participação democrática de todos, (LUCKESI, 2005, p.32).

Portanto, torna claro reconhecer que os diferentes processos e os meios para que os alunos possam ser avaliados implicam em uma garantia de uma aprendizagem que seja mais sólida e coesa, promovendo uma participação integral no ambiente de sala de aula. Dessa forma, ao escolher por uma pesquisa qualitativa, há uma pretensão de que ao diversificar a maneira como se apresenta os conteúdos, desperte nos alunos um desejo de querer aprender os conceitos físicos abordados. Vale ressaltar que não há um interesse quanto aos números, mas sim por elementos que evidenciem a apreensão dos conceitos por parte dos alunos.

[...] a pesquisa qualitativa abdica total ou quase totalmente das abordagens matemáticas no tratamento dos dados, trabalhando preferencialmente com as palavras oral e escrita, com sons, imagens, símbolos, etc, (MOREIRA, 2002, p. 44).

Segundo Moreira (2002), uma pesquisa qualitativa deve estar edificada sobre alguns parâmetros, que devem ser considerados ao se utilizar este formato de pesquisa. Portanto, primeiramente deve se levar em conta a interpretação do foco, de modo que o aplicador deve buscar um entendimento sobre o tema abordado através da ótica dos participantes.

Logo, é de grande importância destacar a subjetividade com que se apresenta cada participante, sempre flexibilizando o processo ao longo da aplicação, na qual há uma exigência da parte aplicador, que deve estar sempre atento para uma possível rigidez das situações do estudo. Assim, o foco da pesquisa deve estar voltado para o processo e nunca para o resultado,

pois é a experiência que deve ser levada em conta, dando margem para o próprio aplicador reconhecer que também fora influenciado pela pesquisa.

### **2.3.1 Produção Textual**

No ambiente da sala de aula, a comunicação entre o professor e o aluno acontece de diferentes maneiras. Em meio aos diversos meios de comunicação existentes, a produção textual pode ser destacada nas aulas de física, por mais que seu uso seja ligado com maior frequência às disciplinas de português, redação ou literatura.

A utilização da escrita em uma disciplina como a física está para além das normas gramaticais ou ortográficas, está voltada para enxergar como o ato de escrever permite que os alunos expressem e argumentem sobre o que pensam a cerca de um determinado assunto discutido em sala de aula.

Desta maneira, pedir que os alunos escrevam possibilita uma dinâmica entre a linguagem e pensamento desenvolvido sobre tal assunto, permitindo que eles expressem como se dá a organização e a construção de seus conhecimentos. Para Vygotsky (2005), ao fazer uso da linguagem, quer seja ela escrita ou em outra formatação, não se prende apenas ao fato do indivíduo poder expressar aquilo que pensa, mas sim em uma estruturação mais abrangente, na qual atua na maneira de construir e organizar o pensamento.

Para que isto tenha êxito, o processo da produção textual deve ser bem estruturado. Assim, será solicitado aos alunos que se expressem de forma escrita, fazendo uso de questionários contendo perguntas abertas e também registrando determinadas situações ao longo da aplicação da sequência.

### **2.3.2 Mapas Conceituais**

Para Moreira (2012), mapas conceituais têm o claro propósito de esclarecer as relações significativas e a hierarquia existente entre conceitos, por isto devem ser vistos como diagramas de significados. Para construir um mapa conceitual não é exigido regras formais; nele são utilizadas formas geométricas, que abrigam conceitos e que o tamanho dessas figuras permite a hierarquização dos conceitos, que só terão significado se forem previamente esclarecidos, fazendo com que o mapa tenha sentido.

A elaboração de um mapa conceitual evidencia a maneira individualizada de organizar os conhecimentos de quem o construiu. A utilização de linhas com setas pode facilitar o processo de entender o que pretende ser mostrado. Desta maneira, permite que haja um contraste entre o que foi aprendido mecanicamente com uma aprendizagem significativa.

Assim, a utilização de mapas conceituais permitirá que seja feito uma sondagem acerca do que foi aprendido durante as aulas, apresentando também, através dos conceitos e

conexões utilizadas para a construção do mapa, evidências de aprendizagem significativa, sendo cada mapa único e não podendo ser classificado em certo ou errado.

Para avaliar os mapas conceituais desenvolvidos pelos alunos, utilizou-se a lista dos critérios tratados por Moreira (2013, p. 35):

- De acordo com a matéria de ensino, as linhas conectando conceitos e as palavras de enlace (os conectores) devem sugerir relações adequadas;
- Presença dos conceitos mais importantes do tema abordado;
- Existência, não apenas de relações verticais, mas de relações cruzadas, indicando reconciliação integrativa;
- Hierarquização conceitual expressa de forma clara (conceitos mais importantes em destaque).

Os conceitos apresentados neste capítulo subsidiaram a elaboração e aplicação do produto educacional desenvolvido na pesquisa de mestrado apresentada nesta dissertação, conforme será visto na metodologia e nos resultados alcançados. No próximo capítulo será apresentada nossa revisão de literatura acerca dos conceitos de tempo, espaço e movimento.

### **3 CONCEITOS MECÂNICOS: ENTRE O POSTO E O PROPOSTO**

O objetivo deste capítulo é dedicado a apresentação dos elementos edificadores da mecânica. Então, na seção 3.1, fizemos uma análise sobre a abordagem dos livros didáticos, a respeito dos conceitos físicos utilizados no ensino de mecânica. Na seção 3.2, apresentamos uma construção dos conceitos mecânicos. Por fim, na seção 3.3, encerramos este capítulo, com uma crítica às duas primeiras seções.

#### **3.1 Ensino de Mecânica nos Livros Didáticos**

Na maioria das escolas brasileiras, os conteúdos de física são agrupados em áreas (mecânica, termologia, ótica e eletromagnetismo), sendo apresentados aos alunos inicialmente no ensino Fundamental (9º ano), com pouco rigor na elaboração dos problemas. Contudo, os conteúdos de mecânica passam a ser retomados de forma mais densa no ensino médio (1ª e 3ª séries).

Concomitantemente, os conteúdos de física são apresentados de forma simplificada e por muitas vezes pouco esclarecidos aos alunos. Contudo, segundo os PCN+ (2006), ao utilizar a linguagem da física através dos seus conceitos e terminologias, se faz necessário que os mesmos sejam bem definidos. Em vista disso, ao buscar um ensino cada vez mais coeso e dinâmico, devemos incluir também uma preocupação para com o material didático adotado, pontuando sempre que não há um material didático perfeito, pois, conforme os estudos vão se atualizando, alguns entendimentos precisam ser repaginados. De todo modo, são pelos livros didáticos que muitos professores mundo à fora preparam suas aulas, sendo alguns com grande popularidade nos ambientes de ensino.

Nesse contexto, ao longo desta seção tivemos a preocupação de apresentar o formato com que alguns livros didáticos abordam os conceitos iniciais de mecânica. Para isto, selecionamos algumas referências básicas utilizadas. Tais referências são tanto do uso escolar quanto do uso acadêmico. Desse modo, as referências foram agrupadas permitindo construir a tabela 1.

Tabela 1: Livros analisados.

<b>Livro</b>	<b>Referência</b>
L1	FERRARO, Nicolau Gilberto; TORRES, Carlos Magno A.; PENTEADO, Paulo Cesar M. <b>Física</b> . Vol. Único. São Paulo, Moderna, 2017.
L2	HELOU, D.; GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B. <b>Tópicos de Física</b> . 1º ed., Vol. 1. São Paulo, Editora Saraiva, 2014.
L3	MÁXIMO, Antonio; ALVARENGA, Beatriz. <b>Física</b> . 1º ed., Vol. 1. São Paulo, Scipione, 2006.
L4	HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl; <b>Fundamentos de Física</b> . Vol. 1: mecânica. Tradução - Ronaldo Sérgio de Biasi. 10. ed. Rio de Janeiro, LTC, 2016.

A seguir, há a exposição da maneira com que cada livro entrega seus conteúdos de mecânica; seja para escola ou para universidade.

### **Livro 1**

Em L1, verifica-se que todos os capítulos, ao término da explicação de cada conteúdo (tópico), como, por exemplo, trajetória ou velocidade média, são sugeridos exercícios propostos para que se teste o que foi compreendido. No final de cada capítulo, são sugeridos novos exercícios, chamados de revisão, subdivididos em fichas-resumo de cada um dos conteúdos desenvolvidos.

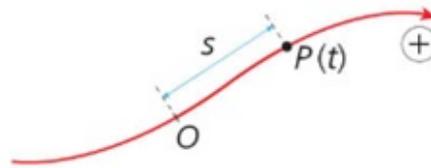
Desta forma, os autores do livro L1 iniciam o primeiro capítulo tratando dos ramos da física (mecânica, termodinâmica, ótica, etc.), o sistema internacional de unidades (S.I) e elementos de matemática básica (notação científica e ordem de grandeza).

No segundo capítulo, no primeiro tópico, movimento e repouso são apresentados como conceitos iniciais, destacando que ambos dependem do referencial adotado. Ao término deste tópico, pontuam que serão tratados ao longo do capítulo as noções de referencial, trajetória, espaço, velocidade e aceleração.

No tópico seguinte, tratam do conceito de espaço, numa perspectiva ainda amarrada à noção de distância percorrida ao longo de uma trajetória, pontuando:

A medida  $\overline{OP}$  da trajetória que permite determinar a posição P, em determinado instante t, recebe o nome de **espaço do móvel** e é indicada por s. O ponto O é denominado origem dos espaços. (Nicolau, Torres e Penteado, 2017, p. 26).

Figura 1 – Figura 3.  $s$ : espaço do móvel no instante  $t$ .

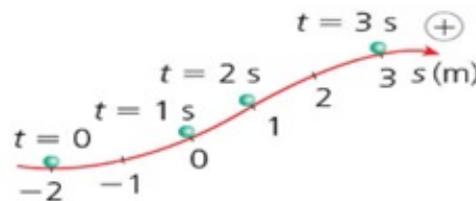


Fonte: Livro Física (Nicolau, Torres e Penteadó, 2017, p. 26).

Em seguida, admitindo uma mudança de posição de um determinado móvel, como ilustra a figura 2, afirmam que:

A partir dos exemplos apresentados, notamos que, para cada valor de  $t$ , corresponde determinado valor de  $s$ . É possível, estabelecer uma relação matemática entre os valores de  $s$  e de  $t$ . Essa relação matemática é a função horária do espaço. (Nicolau, Torres e Penteadó, 2017, p. 27).

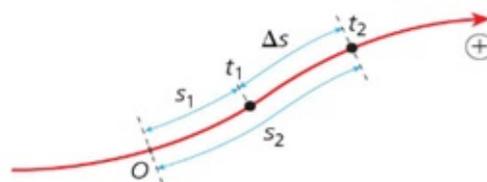
Figura 2 – Figura 4.



Fonte: Livro Física (Nicolau, Torres e Penteadó, 2017, p. 26).

No tópico seguinte, introduzem a ideia de variação de espaço  $\Delta s = s_2 - s_1$ , de forma matematizada, ao longo de um intervalo de tempo  $\Delta t = t_2 - t_1$ , como ilustra a figura 3.

Figura 3 – Figura 6.  $\Delta s = s_2 - s_1$ : variação de espaço ou deslocamento escalar.



Fonte: Livro Física (Nicolau, Torres e Penteadó, 2017, p. 27).

Ao tratar de velocidade, no tópico 5, Nicolau, Torres e Penteadó (2017, p. 28), escrevem:

Para ter ideia da rapidez com que um movimento se realiza, definimos uma grandeza denominada **velocidade escalar**. Quando calculada num determinado intervalo de tempo, temos a **velocidade escalar média**. Já a velocidade escalar num certo instante é a **velocidade escalar instantânea**.

Assim, apresentam a equação,

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Sendo  $v$  a velocidade média,  $\Delta s$  a variação do espaço e  $\Delta t$  a variação do tempo. Adiante, apresentam as unidades de medida da velocidade, mostrando como é possível converter as unidades entre si, exemplificando da seguinte forma:

$$\frac{Km}{h} = \frac{1000m}{3600s} \rightarrow 1 \frac{Km}{h} = \frac{1m}{3,6s} \text{ ou } 1m/s = 3,6km/h$$

esclarecendo que no S.I usa-se m/s.

De forma similar ao tópico 5, no tópico 6 apresentam o conceito de aceleração, da seguinte forma:

Para ter ideia da rapidez com que a velocidade escalar varia no decorrer do tempo, definimos uma grandeza denominada **aceleração escalar**. Quando calculada num determinado intervalo de tempo, temos a **aceleração escalar média**. Já a aceleração escalar num certo instante é a **aceleração escalar instantânea**. (Nicolau, Torres e Penteadó, 2017, p. 31).

Apresentando em seguida, a equação:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

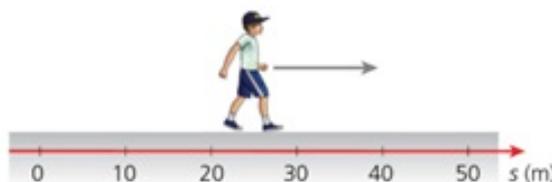
Sendo  $a$  a aceleração média,  $\Delta v$  a variação da velocidade e  $\Delta t$  a variação do tempo. E então, apresentam as unidades de medida da aceleração, exemplificando da seguinte forma:

$$\frac{Km/h}{h} = \frac{Km/h}{h^2}; \frac{m/s}{s} = \frac{m}{s^2}$$

esclarecendo que no S.I usa-se  $m/s^2$ .

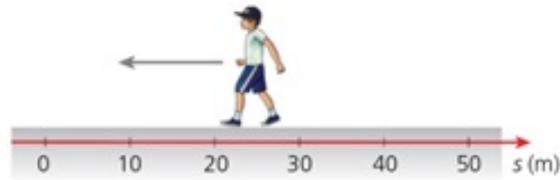
Nos tópicos 7 e 8 são apresentados alguns tipos de movimento, sendo ilustrados pelas figuras 4, 5, 6 e 7, em que os autores fazem as seguintes afirmações:

Figura 4 – Movimento progressivo.



Fonte: Livro Física (Nicolau, Torres e Penteadó, 2017, p. 31).

Figura 5 – Movimento retrógrado.



Fonte: Livro Física (Nicolau, Torres e Penteado, 2017, p. 31).

“No **movimento progressivo**, o espaço do móvel cresce com o decorrer do tempo e a velocidade escalar é positiva. (Nicolau, Torres e Penteado, 2017, p. 31)”.

“No **movimento retrógrado**, o espaço do móvel decresce com o decorrer do tempo e a velocidade escalar é negativa. (Nicolau, Torres e Penteado, 2017, p. 31)”.

Figura 6 – Movimento acelerado.



Fonte: Livro Física (Nicolau, Torres e Penteado, 2017, p. 32).

“**Movimento acelerado:** o valor absoluto da velocidade escalar aumenta com o decorrer do tempo. (Nicolau, Torres e Penteado, 2017, p. 32)”.

Figura 7 – Movimento retardado.



Fonte: Livro Física (Nicolau, Torres e Penteado, 2017, p. 32).

“**Movimento retardado:** o valor absoluto da velocidade escalar diminui com o decorrer do tempo. (Nicolau, Torres e Penteado, 2017, p. 32)”.

Nos capítulos 3 e 4, são abordados os conceitos de movimento uniforme e movimento uniformemente variado, seguidos de exercícios para os respectivos tipos de movimento, cuja a solução se dá unicamente de forma matematizada. Não há exercícios para que os alunos possam refletir sobre os conceitos.

## **Livro 2**

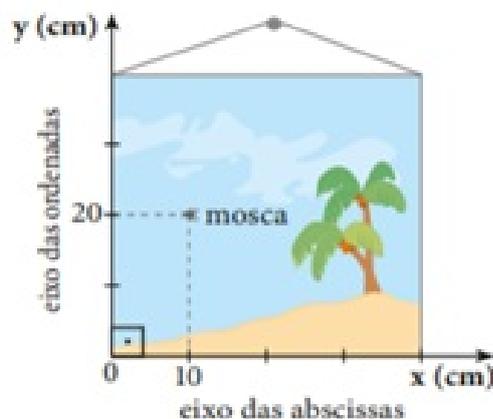
Em L2, os capítulos são chamados de tópicos e os conteúdos estão agrupados dentro de blocos. É observado no livro que os exercícios estão divididos em níveis de dificuldade (1, 2 e 3), acrescidos de outros exercícios numa seção chamada “Para raciocinar um pouco mais”. Em seguida, ao final dos tópicos, temos o apêndice, reforçando certos conteúdos através de exercícios resolvidos.

Como no L1, os autores do L2 abordam as principais áreas de estudo da física, seguido de uma base matemática (medição, notação científica, Algarismos significativos, ordem de grandeza, etc.), e uma breve introdução à mecânica, sinalizando uma subdivisão da mesma, em cinemática, dinâmica e estática.

No primeiro bloco, a noção de referencial é tratada com primeiro elemento, sendo definida pelos autores: “**Referencial** é um corpo (ou um conjunto de corpos) em relação ao qual são definidas as posições de outros corpos. (Helou, Gualter e Newton, 2014, p. 22)”.

Assim, os autores fazem um esclarecimento sobre a definição das posições, em que estas, podem ser feitas através do uso de eixos cartesianos ortogonais, fazendo a seguinte ilustração.

Figura 8 – Ilustração da posição nos eixos cartesianos.



Fonte: Livro *Tópicos de Física* (Helou, Gualter e Newton, 2014, p. 22).

Então, apresentam o tempo como um conceito já conhecido, argumentando sobre a associação à sucessão de acontecimentos, como, por exemplo, o envelhecimento dos seres

vivos, o avanço tecnológico, etc. A partir deste preâmbulo sobre o tempo, trata das formas com que se pode medi-lo.

Medimos o tempo por meio da contagem das repetições de qualquer fenômeno periódico. Podemos medi-lo, por exemplo, contando o número de voltas completas que a Terra efetua em torno do Sol (contagem dos anos), ou número de rotações que a Terra efetua em torno de seu próprio eixo (contagem dos dias), ou o número de oscilações de um pêndulo, ou ainda o número de voltas de um ponteiro de relógio. (Helou, Gualter e Newton, 2014, p. 23).

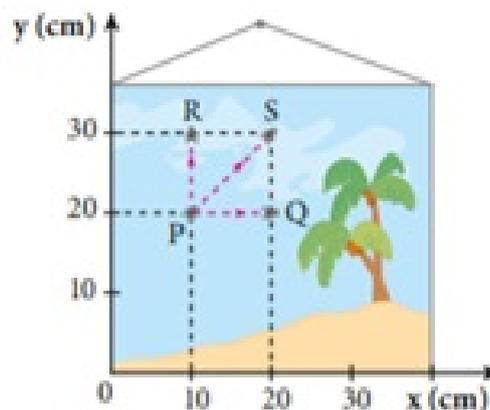
Helou, Gualter e Newton (2014, p. 23) acrescentam que a localização de um dado evento no tempo recebe o nome de instante, e a sucessão de destes instantes é nomeada de intervalo de tempo, representada por “ $\Delta t$ ”. Dado pela subtração de  $t_2$ , evento ocorrido depois, com  $t_1$ , evento ocorrido antes e sendo ilustrado da seguinte maneira:

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

Adiante, em L2 há o tratamento dos conceitos de movimento e repouso, utilizando o sistema de eixos cartesianos, como mostrado na figura 9, e afirmando que:

Um ponto material está em **movimento** em relação a um referencial quando sua posição varia com o tempo em relação a esse referencial. Um ponto material está em **repouso** em relação a um referencial quando sua posição não varia com o tempo em relação a esse referencial. (Helou, Gualter e Newton, 2014, p. 26).

Figura 9 – Ilustração da possibilidade de mudança de posição nos eixos cartesianos.

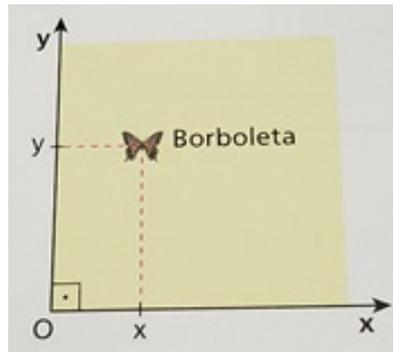


Fonte: Livro *Tópicos de Física* (Helou, Gualter e Newton, 2014, p. 26).

Ao tratarem de trajetória, Helou, Gualter e Newton (2014) escrevem: “**Trajétória** de um ponto material em movimento é a linha que ele descreve em relação a um referencial. Caso o ponto material encontre-se em repouso, sua trajetória reduz-se a um ponto. (Helou, Gualter e Newton, 2014, p. 27)”.

O conceito de trajetória antecede a noção de espaço. Novamente, é adotado o sistema de eixos cartesianos, como apresenta a figura 10.

Figura 10 – Ilustração da posição nos eixos cartesianos.



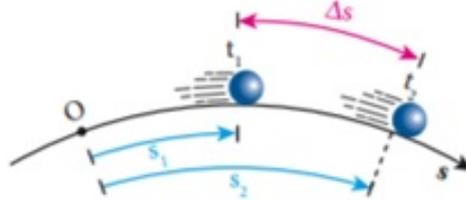
Fonte: Livro *Tópicos de Física* (Helou, Gualter e Newton, 2014, p. 30).

Em seguida, os autores de L2 mostram a relação que há entre espaço e trajetória, para que não haja o entendimento que ambas sejam a mesma coisa.

**Espaço** de uma partícula é a grandeza que determina sua posição em relação à trajetória, posição esta, dada pelo comprimento do trecho de trajetória compreendido entre a partícula e o ponto O, acrescido de um sinal positivo ou negativo, conforme a região em que ela se encontra. O ponto O é denominado origem dos espaços. Note que a orientação da trajetória indica o sentido dos espaços crescentes. (Helou, Gualter e Newton, 2014, p. 31).

Então, após a apresentação do conceito de espaço, Helou, Gualter e Newton (2014, p. 31) fazem algumas considerações sobre a seguinte ilustração.

Figura 11 – A variação do espaço entre t1 e t2.



Fonte: Livro *Tópicos de Física* (Helou, Gualter e Newton, 2014, p. 31).

Das duas posições consideradas, uma é inicial e outra é final. Assim, a variação de espaço é o espaço na posição final menos o espaço na posição inicial. É importante notar que, se a posição inicial e a posição final coincidirem, teremos  $\Delta s$  igual a zero. Se a partícula mover-se no sentido da trajetória,  $s_2$  será maior que  $s_1$  e, portanto,  $\Delta s$  será positivo. Entretanto, se a partícula mover-se em sentido contrário ao da trajetória,  $s_2$  será menor que  $s_1$  e, assim,  $\Delta s$  será negativo. (Helou, Gualter e Newton, 2014, p. 31).

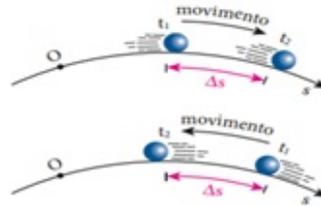
Então, escrevem

$$\Delta s = s_2 - s_1$$

Para os autores de L2, deve-se levar em conta duas situações. Na primeira, a partícula se desloca sempre num mesmo sentido. Como mostrado na figura 12, a distância

percorrida se igual ao módulo de  $\Delta s$ , sendo, na parte superior,  $\Delta s$  positivo e na parte inferior,  $\Delta s$  negativo.

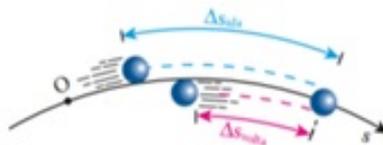
Figura 12 – Distância percorrida =  $|\Delta s|$ .



Fonte: Livro *Tópicos de Física* (Helou, Gualter e Newton, 2014, p. 31).

Quando a partícula inverte o sentido de seu movimento, a distância percorrida é igual à soma dos módulos de  $\Delta s$ , tanto para ida quanto para a volta, como representa a figura 13.

Figura 13 – Distância percorrida =  $|\Delta s_{ida}| + |\Delta s_{volta}|$ .



Fonte: Livro *Tópicos de Física* (Helou, Gualter e Newton, 2014, p. 31).

Dados os conceitos de variação do espaço e de tempo, Helou, Gualter e Newton (2014, p. 32) inserem o conceito de velocidade escalar média como uma razão entre a variação do espaço e a variação de tempo, ao argumentarem que “**Velocidade escalar média** entre dois instantes é a variação de espaço ocorrida, em média, por unidade de tempo:  $v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ ”. *Tópicos de Física* (Helou, Gualter e Newton, 2014, p. 32).

Dessa forma, apresentam que a unidade de medida da velocidade é dada pelo quociente de uma unidade de comprimento por uma de tempo. Sendo no S.I, m/s (metro por segundo), mas sendo frequentemente usada Km/h (quilômetro por hora), valendo a relação a seguir:

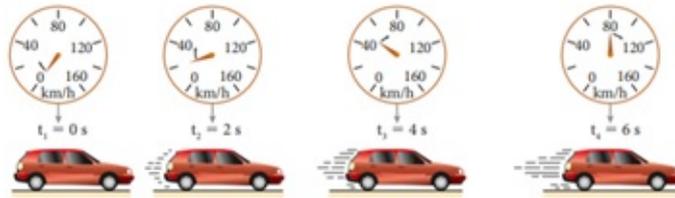
$$3,6Km/h = 1m/s$$

Continuando, os autores de L2 caracterizam o movimento em movimento progressivo, quando os espaços crescem com o tempo, e é dito retrógrado quando os espaços decrescem com o tempo.

Após inserir a noção de velocidade, Helou, Gualter e Newton (2014, p. 39), tratam do conceito de aceleração, também tratada como uma razão, mas agora, entre a variação da velocidade e a variação de tempo, fazendo a seguinte afirmação: “**Aceleração escalar média** entre dois instantes é a variação de velocidade escalar instantânea ocorrida, em média, por unidade de tempo:  $a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ”. *Tópicos de Física* (Helou, Gualter e Newton, 2014, p. 39)”.

E concluem o capítulo, apontando outros tipos de movimentos, como mostra as figuras 14, 15 e 16.

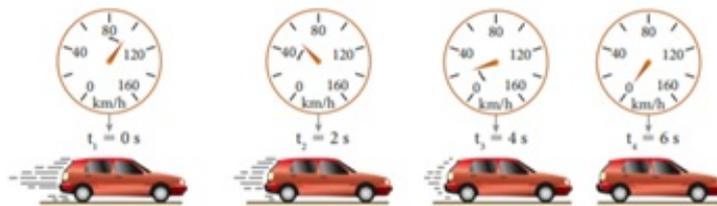
Figura 14 – Movimento acelerado.



Fonte: Livro *Tópicos de Física* (Helou, Gualter e Newton, 2014, p. 31).

“Um movimento é **acelerado** quando o módulo da velocidade escalar instantânea é sempre crescente com o passar do tempo. *Tópicos de Física* (Helou, Gualter e Newton, 2014, p. 40)”.

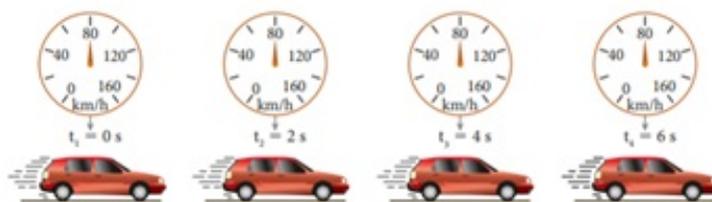
Figura 15 – Movimento retardado.



Fonte: Livro *Tópicos de Física* (Helou, Gualter e Newton, 2014, p. 41).

“Um movimento será **retardado** quando o módulo da velocidade escalar instantânea for sempre decrescente com o passar do tempo. *Tópicos de Física* (Helou, Gualter e Newton, 2014, p. 40)”.

Figura 16 – Movimento Uniforme.



Fonte: Livro *Tópicos de Física* (Helou, Gualter e Newton, 2014, p. 31).

“Um movimento será **uniforme** quando a velocidade escalar instantânea for constante e diferente de zero com o passar do tempo. *Tópicos de Física* (Helou, Gualter e Newton, 2014, p. 40)”.

### Livro 3

Em L3, os capítulos são divididos em tópicos, que tratam os conteúdos e são seguidos de exercícios de fixação. Ao final de cada capítulo, constam as seções de revisão, algumas experiências simples, problemas e testes e, por último, a seção de problemas suplementares.

O primeiro capítulo de L3 trata dos ramos da física fazendo um breve resumo das áreas de estudo dessa disciplina. Em seguida, há um direcionamento matemático para os alunos tratando a respeito das potências de 10, Algarismos significativos e ordem de grandeza.

Máximo e Alvarenga (2006), em seu segundo capítulo, abordam a cinemática e esclarecem sobre o objeto de estudo da mesma. Em seguida, tratam sobre “o que é uma partícula”, afirmando: “Dizemos que um corpo é uma partícula, quando suas dimensões são muito pequenas em comparação com as demais dimensões que participam do fenômeno. Física (Máximo e Alvarenga, 2006, p. 35)”. E continuam: “Por este motivo, sempre que nos referimos ao movimento de um objeto qualquer (salvo se for dito o contrário), estaremos tratando-o como se fosse uma partícula. Física (Máximo e Alvarenga, 2006, p. 35)”.

No tópico seguinte, o movimento é relativo, pontuam sobre a percepção do movimento por diferentes observadores, ao dizer que: “O movimento de um corpo, visto por um observador, depende do referencial no qual o observador está situado. Física (Máximo e Alvarenga, 2006, p. 36)”.

Então, após tratar acerca do referencial, no tópico “distância, velocidade e tempo”, os autores afirmam que:

Quando um corpo se desloca com velocidade constante, ao longo de uma trajetória retilínea, dizemos que o seu movimento é retilíneo uniforme (a palavra uniforme indica que o valor da velocidade permanece constante). Física (Máximo e Alvarenga, 2006, p. 37).

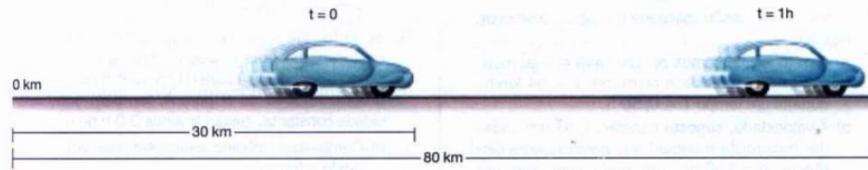
Assim, Máximo e Alvarenga (2006, p. 37) sugerem o seguinte exemplo:

[...]suponhamos um automóvel...com seu velocímetro indicando sempre uma velocidade de  $60\text{Km/h}$ . Como você sabe que isto significa que em 1,0 h o carro percorrerá 60 km, em 2,0 h o carro percorrerá 120 km, em 3,0 h o carro percorrerá 180 km etc. Observe que, para obter os resultados mencionados, você intuitivamente foi acrescentando 60 Km a cada acréscimo de 1,0 h no tempo do percurso. Você poderia, então, chegar aos mesmos valores da distância percorrida multiplicando a velocidade pelo tempo gasto no percurso. Portanto, representando por  $d$  a distância percorrida,  $v$  a velocidade (constante),  $t$  o tempo gasto ao percorrer  $d$ , podemos escrever  $d = vt$ .

Adiante, há o tratamento das unidades de medida da velocidade. Após abordarem a noção de velocidade, Máximo e Alvarenga (2006), esclarecem sobre a posição de um móvel e sua trajetória. Desta forma, afirmam:

Para se determinar a posição de um corpo em uma dada trajetória, basta que se forneça o valor da sua distância, medida sobre a trajetória, a um ponto dela tomado como referência (origem). Física (Máximo e Alvarenga, 2006, p. 43).

Figura 17 – figura 2.8-a: A posição do carro no instante  $t = 0$  é  $d = 30$  Km, e no instante  $t = 1$  h é  $d = 80$  Km.



Fonte: Livro Física (Máximo e Alvarenga, 2006, p. 43).

Continuando o capítulo, os autores de L3 pontuam sobre velocidade instantânea e apresentam a inserção dos gráficos relacionados aos elementos de espaço, tempo e velocidade. Em seguida, inserem o conceito de aceleração média, relacionado com a mudança de velocidade. Então, apresentam a equação a seguir:

$$a = \frac{\text{variação da velocidade}}{\text{variação do tempo decorrido}}$$

isto é,

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}.$$

Dessa forma, Máximo e Alvarenga (2006) encerram o capítulo de cinemática. Após terem abordado a noção de movimento retilíneo uniformemente variado, tratam da aceleração, apresentando o conceito queda livre, proposto por Galilei.

#### **Livro 4**

Em L4, os capítulos, estão subdivididos em módulos. No início de cada módulo, abordam sobre os objetivos do aprendizado, afirmando que “Depois de ler esse módulo, você será capaz de...” apontando os principais objetivos. Então, apresentam as ideias-chave do módulo, que traz breves definições do que será tratado e algumas formulações para uso durante as resoluções dos exercícios do capítulo. Em cada módulo, também trazem um tópico chamado de “O que é física?”, tratando sobre como são utilizados pela ciência e tecnologia os conteúdos que serão desenvolvidos no capítulo, através de um enfoque informativo.

No capítulo número 1, os autores tratam sobre a medição. Assim, como nos livros anteriores, no primeiro módulo abordam as grandezas, o sistema internacional de unidades e notação científica. No módulo seguinte, apresentam os conceitos de comprimento e tempo e, por

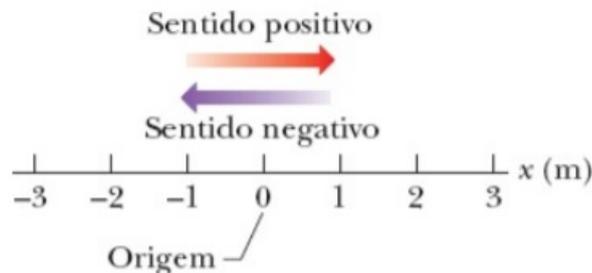
último, tratam o conceito de massa, em que acrescentam sobre o conceito de massa específica. Ao final do primeiro capítulo, no tópico revisão e resumo, apresentam uma recapitulação dos tópicos tratados ao longo do capítulo.

No capítulo 2, no primeiro módulo tratam da velocidade média, posição e deslocamento. Inicialmente, falam sobre o movimento.

O mundo, e tudo que nele existe, está sempre em movimento. Mesmo objetos aparentemente estacionários, como uma estrada, estão em movimento por causa da rotação da Terra, da órbita da Terra em torno do Sol, da órbita do Sol em torno do centro da Via Láctea e do deslocamento da Via Láctea em relação às outras galáxias. A classificação e comparação dos movimentos (chamada de cinemática) pode ser um desafio. Fundamentos de Física (Halliday, Resnick e Walker, 2016).

Então, tratam sobre posição e deslocamento, pontuando que há um sentido positivo quando os números que indicam a posição aumentam o valor, e sentido negativo, quando os números diminuem, esclarecendo que o deslocamento se trata de uma mudança ao longo da reta  $x$ , mostrada na figura a seguir.

Figura 18 – figura 2-1: A posição de um objeto é indicada em relação a um eixo marcado em unidades de comprimento (metros, por exemplo), que se estende indefinidamente nos dois sentidos. O nome do eixo, que na figura é  $x$ , aparece sempre no lado positivo do eixo em relação à origem.



*Livro Fundamentos de Física (Halliday, Resnick e Walker, 2016).*

Escrevendo que o deslocamento pode ser representado da seguinte maneira.

$$\Delta x = x_2 - x_1.$$

Adiante, tratam da velocidade média como uma razão associada ao deslocamento e ao intervalo de tempo  $\Delta t = t_2 - t_1$ . Então, apresentam a equação abaixo.

$$v_{méd} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}.$$

Ao longo deste capítulo, há também a resolução de exemplos passo a passo, e ao tratar da velocidade média, inserem o conceito de velocidade instantânea, a qual representam pela equação:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

Desta equação argumentam que:

Observe que  $v$  é a taxa com a qual a posição  $x$  está variando com o tempo em um dado instante, ou seja,  $v$  é a derivada de  $x$  em relação a  $t$ . Note também que  $v$ , em qualquer instante, é a inclinação da curva que representa a posição em função do tempo no instante considerado. A velocidade instantânea também é uma grandeza vetorial e, portanto, possui uma orientação. (Halliday, Resnick e Walker, 2016).

Após inserir os conceitos de velocidade através da razão entre o deslocamento e o tempo, no módulo 2.3 do capítulo 2, os autores tratam da aceleração média, apresentando-a como uma razão entre a variação da velocidade e o tempo. Assim escrevem,

$$a_{méd} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \text{ (aceleração média),}$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \text{ (aceleração instantânea).}$$

Ainda neste capítulo, apresentam outras formulações matemáticas e o movimento de queda livre. Sendo um livro do ensino superior, apresentam também as formulações das equações vistas no ensino médio através de limites, derivadas e integrais. Então trazem ao término do capítulo, além da revisão e resumo, uma grande quantidade de exercícios sobre os tópicos estudados. Nos capítulos seguintes, temos o estudo de vetores no capítulo 3, movimento em duas e três dimensões no capítulo 4 e o estudo de força e movimento no capítulo 5.

## 3.2 Estruturação das Teorias do Movimento

Esta seção apresenta uma construção dos conceitos envolvidos em uma mecânica. Para isto, utilizamos como embasamento, o artigo escrito por Santana (2019) “Espaço, Tempo e Estruturas das Teorias do Movimento”, assim como, o de Santana e Simon (2015) “Constitutive Elements of Non-Abelian Gauge Theories”, Santana e Simon (2019), “Causation, Symmetry and Time Irreversibility” e também Santana e Simon (2019) “Laszlo Tisza, 110 years: Origins of the Modern Thermal Physics”.

### 3.2.1 O Mundo Heurístico

Para se construir uma teoria do movimento, tem se de ser feito a escolha de um ponto de partida. Ao olhar para o mundo, um observador estabelece uma primeira constatação: “O mundo existe”. A partir deste primeiro entendimento, o observador passa ter a noção do existir do mundo, como um conceito primitivo. Então, ele observa que o mundo é composto por coisas (pessoas, bichos, plantas, estrelas, galáxias, etc.), sendo o existir das coisas um outro

conceito primitivo. Para a física, as coisas definem o mundo, e isso se chama realismo da física. Segundo Santana (2019), a *práxis* da física em qualquer escala, se constrói sobre o experimento, utilizando como ponto de partida as relações entre os objetos físicos.

Então, ao buscar construir uma teoria do movimento, o observador através da sua cognição, enxerga relações entre as coisas do mundo, que para a física são escolhidas como conceitos primitivos, ou ontológicos. As relações estabelecem a conformação, ou a disposição, das coisas entre si. Por exemplo, um observador diz ao caminhar por uma rua: “...este carro azul está aqui e aquela bicicleta vermelha está ali...”. Ou ainda, pode dizer: “Esta caneta é muito menor que minha mesa!”, pois ao comparar, pode verificar que cabem 12 canetas ao longo da mesa, mas saberá também que não caberá 80 canetas. Isto significa que há relações (o conceito primitivo) entre a carteira e a caneta. Portanto, o observador passa a entender que a conformação de relação que se estabelece entre a caneta e a carteira não muda, neste caso. Estas relações são denominadas de estáticas.

Além dessas, as conformações podem ser de natureza não-estáticas. Esta segunda possibilidade pode ser exemplificada da seguinte forma: considere um observador sentado na janela de sua casa, de frente para uma avenida, e que se concentra em um carro virando a esquina e diz: “Aquele carro está passando!”. Em seguida, verifica que a relação da sua cama para com um poste situado na esquina em que o carro entrou, é de natureza estática, mas não com relação ao carro passando. Desta forma, ele observa que a conformação da sua cama para com o carro está mudando, mas em relação ao poste situado na esquina, a conformação continua a mesma. Então, o observador passa a denominar a mudança de conformação, de movimento.

Contudo, antes de estudar estas mudanças de conformação, verifica-se a necessidade de inserir alguns conceitos, como o conceito de espaço, a partir das relações estáticas e o conceito de tempo, através das relações não-estáticas. Por consequência, dados os conceitos de espaço e tempo, pode-se introduzir o conceito de velocidade como uma das características do movimento. Em seguida, pode-se tratar o conceito de aceleração ou suas derivadas, e assim por diante.

### 3.2.1.1 Espaço Heurístico

Ao tomar como ponto de partida o conceito de relações e a natureza estática das coisas (conformações), um observador situado em uma sala enxerga relações entre as coisas que estão na sala, quer sejam umas para com as outras, ou ainda para com a própria sala. Sendo assim, ele pode vir a dizer: “Aquele estante é muito maior que este livro!” ou “Aquele cadeira é muito menor que esta parede!”. Desta forma, o observador pode fazer experimentações, como verificar quantas cadeiras podem ser postas ao longo da parede. Por exemplo, ao contar, verifica que cabem 10,3 cadeiras. Ao obter o número, cujo o significado se trata do valor de uma

grandeza, aleatoriamente o observador pode nomeá-la de comprimento. Desse modo, o número 10,3 representando o comprimento. Fica por muitas vezes, sem sentido para o observador dizer “10,3 comprimentos”, então perguntariam a ele: “Do quê?” e caso ele respondesse: “De parede!”, logo devolveriam “De qual parede você está falando?”, portanto, cria-se uma unidade de medida que ele arbitrariamente chama de cadeiras.

De maneira análoga a esta, com o conceito primitivo de noção de profundidade (noção sensorial), um observador pode perceber se os objetos estão atrás ou à frente, bem como abaixo ou acima uns dos outros. Ele obtém através das relações os conceitos de largura e altura. Estes três conceitos, comprimento, largura e altura, permitem ao observador caso queira preencher toda a sala com várias coisas, e depois localizá-las caso fosse necessário. Então, através dos conjuntos das relações entre as coisas situadas na sala observada, as quais se localizam umas com relações as outras, permitem ao observador criar um novo conceito, o qual ele chama de espaço, ou espaço-euclidiano tratado em todo o  $R^3$ , em que dada a grandeza espaço, atribui-se uma unidade de medida que pode ser nomeada de metro. E sobre a unidade de medida a escala é construída.

### 3.2.1.2 O Tempo ao Longo do Tempo

Desde as primeiras civilizações até os dias atuais, os seres humanos pautaram suas atividades segundo noção que tinham de tempo. Ao voltar seus olhos para o céu, os povos primitivos viram o Sol nascer e se pôr, dando-lhes o entendimento do dia e da noite. Assim, conforme as civilizações se desenvolviam, o controle e posse sobre o tempo era utilizado para a legitimação de autoridades e ao acúmulo de bens. Desse modo, ao se apropriar e usar tempo, os representantes do povo definiam períodos de plantio, treinamento militar, rituais religiosos e etc.

Atualmente, umas das muitas competências dos físicos é buscar uma maneira clara de se abordar o tempo. Segundo Santana (2019), para se tratar do tempo em teorias físicas é preciso que se leve em conta dois aspectos de grande importância, o primeiro acerca dos elementos que constituem a noção de tempo, como processos empíricos e o segundo aspecto, pautado em atributos de natureza qualitativa-teórica quanto elementos geométricos.

Em vasta literatura, estão escritos grandes nomes que se destacaram ao tratar do tempo. Então, torna-se claro a grande relevância histórico-cultural em lembrar as contribuições desses cientistas para o entendimento que temos sobre o tempo na atualidade.

Na Grécia antiga, Aristóteles, ao afirmar “Tempo é movimento...”, evidencia um entendimento acerca da natureza das coisas ao destacar o fato de que estas se atualizam de maneira gradual (*metabole*) ao amplificarem suas potencialidades, nomeando todo o processo da mudança em si, de *kinesis*. Em resumo, para o grego, o movimento está relacionado ao

processo de mudança, portanto, ao próprio tempo. “[...] não apenas medimos o movimento pelo tempo, mas também o tempo pelo movimento, porque eles se definem um ao outro. (Aristoteles Apud Whitrow, 1993, p.57)”.

Anos mais tarde, Santo Agostinho em seu livro *Confissões*, faz uma primeira mensuração acerca do tempo, ao escrever “...medimos os tempos que passam, de modo que podemos afirmar: este espaço de tempo é duplo de tal outro, ou é-lhe equivalente, ou este é o igual àquele... Por conseguinte, medimos os tempos ao decorrerem. E se alguém me disser: ‘Como sabeis?’, responder-lhe-ei: ‘Sei-o porque o medimos’. Não medimos o que não existe.”, esclarece que a medida do tempo, é estabelecida por meio de comparação de processos.

Por conseguinte, anos mais tarde, ao utilizar <sup>4</sup>clepsidras, Galileu, através da comparação e da prática experimental dos estudos dos movimentos, faz uma inserção do tempo.

No que diz respeito à medida do tempo, empregávamos um grande recipiente cheio de água, suspenso no alto, o qual, por um pequeno orifício feito no fundo, deixava cair um fino fio de água, que era recolhido num pequeno copo durante todo o tempo em que a bola descia pela canaleta ou por suas partes. As quantidades de água assim recolhidas eram a cada vez pesadas com uma balança muito precisa, sendo as diferenças e proporções entre os pesos correspondentes às diferenças e proporções entre os tempos; e isto com tal precisão que, como afirmei, estas operações, muitas vezes repetidas, nunca diferiam de maneira significativa. (Galilei, 1988, p. 176).

Evidenciando que o tempo seria uma quantidade mensurável.

E por fim, Newton, ao tratar do tempo como algo “...absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e por sua própria natureza flui igualmente sem relação com nada de externo, e com outro nome, é chamado de duração...”, ao escrever seu livro *The Principia*, propõe a primeira síntese mecânica para uma inquietação surgida ainda na idade média, período a partir do qual passou-se a utilizar o relógio como instrumento de medida. Anteriormente a tudo isto, ter controle e posse sobre o tempo como mostra a história esteve diretamente associado a legitimação de autoridade e ao acúmulo de bens, pois era através da apropriação e uso do tempo que os grandes líderes da época definiam períodos de plantio, treinamento militar, rituais religiosos e etc. Então, desde Newton, a ciência tem feito uso desta maneira de mensuração até os dias de hoje.

### 3.2.1.3 Tempo Heurístico

Adota-se, como ponto de partida, o conceito de relações e a natureza não-estática das coisas, para a seguinte situação: um observador situado em uma sala munido de um pêndulo. Ao soltar o pêndulo, ele observa que a conformação da sala para com o pêndulo muda, mas

<sup>4</sup>A clepsidra ou relógio de água foi um dos primeiros sistemas criados pelo homem para medir o tempo. Trata-se de um dispositivo movido a água, que funciona com o auxílio da força da gravidade, no mesmo princípio da ampulheta (de areia). (<https://pt.wikipedia.org/wiki/Clepsidra>, acesso em: 01 out. 2019).

depois ao voltar, a conformação é retomada. Assim, ao verificar que o ato de ir e vir se repete, o observador nomeia de *ciclo*. Assim, com o auxílio de um pêndulo, o observador estabelece o padrão, que possibilita ao observador comparar, por exemplo, como se dá a mudança de conformação. Dessa forma, um observador com um pêndulo em sua mão e sentado em sua sala, com janela de frente para rua diz: “Quantos ciclos aquele carro leva para chegar ao fim da rua?” e ao contar, encontra 8,5 ciclos. Em seguida, uma moto passa, e ao repetir o processo, obtêm 3 ciclos, o que permite ele dizer que a moto passou mais rapidamente que o carro. Contudo, ao contar os ciclos, aparecem números (8,5 e 3), que representam os valores de uma grandeza, arbitrariamente chamada pelo observador de tempo.

Com a grandeza tempo, o observador é capaz de dizer o quão rápido a conformação de relação entre as coisas mudam. Então, ao retomar os valores grandeza tempo, na situação descrita acima (8,5 e 3), para lembrar que estes valores representam esta grandeza, cria-se então uma unidade de medida, e então novamente de forma arbitrária, pode ser nomeado de segundo.

#### 3.2.1.4 Movimento Heurístico

Ao tratar das mudanças de conformação, admitindo-as mais rápidas ou menos rápidas, umas com relações as outras, implicitamente está incluída a noção de espaço, na qual a distância possui valor fixo.

Ao retomar o exemplo da moto que se move mais rapidamente que o carro através ciclos, sabe-se que, por meio das relações, pode-se obter também o valor do comprimento da rua na qual é visualizada pelo observador. Desse modo, dadas as informações das medidas a qual informam o deslocamento dos móveis (carro e moto), e do tempo decorrido, é possível relacioná-los. Dessa relação, surge um novo elemento derivado das noções de espaço e tempo. Assim, é possível que observador sempre verifique o quão rápido outros objetos (veículos, pessoas, bichos etc.) percorram a mesma rua. Então, esta grandeza pode ser chamada de velocidade, representando, o quanto se percorre no espaço ao longo de um tempo. Por consequência, o quanto mais rápido um objeto se move, então maior será sua velocidade, representada por:

$$V = \frac{dx}{dt}.$$

Sendo a velocidade uma relação entre o espaço e o tempo, torna-se claro que a unidade de medida que representa esta grandeza será uma unidade obtida através das utilizadas para representar o espaço e o tempo. Podendo ser,

$$cm/s; mm/h; m/dia.$$

Se o observador desejar comparar o quão rápido se dá o movimento ao longo de

um tempo, pode ser inserido a partir desta nova relação uma outra grandeza. Esta, por sua vez, pode ser nomeada de aceleração, descrita por:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}.$$

### 3.2.2 Simetrias do Movimento

Dados os conceitos de espaço e tempo, é possível introduzir a noção de sistema de referência inercial. Um sistema de referência é um lócus no espaço onde o observador estuda o movimento de um sistema. Tal sistema é chamado de inercial, quando um sistema físico estudado mantiver seu estado de movimento, desde que não haja interação com outros sistemas. Por exemplo, se em um laboratório colocamos sobre uma mesa uma esfera parada, velocidade nula, ou mesmo constante, e se a mesma permanecer neste estado de movimento, então o sistema será chamado de sistema de referência inercial. Este é o conteúdo da primeira lei de Newton, chamada de lei da inércia descrita nos principia, “*Lex I: Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare*”.

Voltando ao caso da bolinha sobre a mesa, se nas mesmas condições (sem interação, e velocidade nula) sofrer alteração de seu estado de movimento, portanto, acelerar-se, dizemos que o sistema de referência é não-inercial.

Segundo Santana (2019), o estado de movimento de um sistema mecânico é caracterizado por elementos que tipificam o movimento desse sistema e informam o seu posicionamento espacial. Esse conceito nasce de processos experimentais, permitindo classificar os sistemas mecânicos (campos ou pontos materiais) em classes específicas de estados mecânicos, nos quais a especificação dos sistemas ocorre através de uma função escalar. Assim, ao tomar a equação de Euler-Lagrange,

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} = \frac{\partial L}{\partial q_i}; i = 1, \dots, N.$$

verifica-se que o estado mecânico, chamado Lagrangiana, permanece invariante ao mudar de um sistema inercial para outro.

Entretanto, ao sugerir que o movimento poderia ser “relativo”, Galilei observou como se relaciona um sistema de coordenadas em repouso com outro que se move com velocidade uniforme em relação ao anterior. Para tanto, estabelece que as leis físicas devem permanecer válidas para qualquer sistema de referência inercial. Em outras palavras as leis físicas, permanecem invariantes para todos os sistemas de referência inercial.

Dessa forma, a relação entre um sistema de referência  $S$  e outro  $S'$  se estabelece

experimentalmente. Considere um observador descrevendo um objeto físico no sistema  $S$ , localizado num ponto  $p = (x, y, t)$ .

Para um outro observador no sistema  $S'$ , o evento estará localizado em um ponto  $p' = (x', y', t')$ . A relação entre um ponto e outro fica dada por

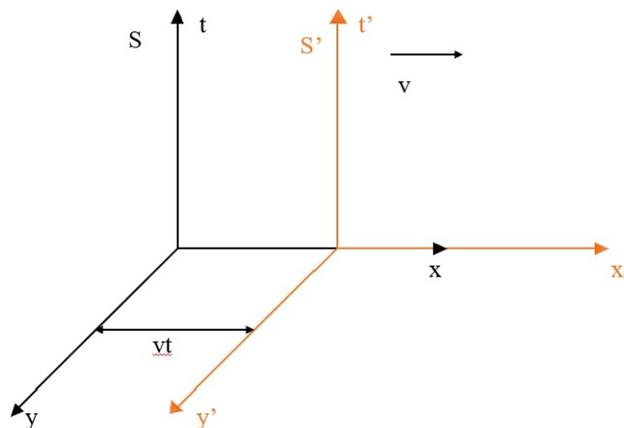
$$x' = x + vt,$$

$$y' = y,$$

$$t' = t,$$

onde  $v$  é a velocidade relativa de  $S'$  com relação a  $S$ . Descrevendo o mesmo evento físico.

Figura 19 – Transformação de Galilei.



Fonte: Autor

Assim, Galilei propõe a primeira ideia de relatividade, na qual, o tempo é o mesmo em qualquer referencial inercial.

Entretanto, ao tratar de velocidades muito altas, como a velocidade da luz, encontramos como problema, a sincronicidade dos relógios. Esta é a ideia versada por Einstein, ao propor a teoria da relatividade restrita, em que o movimento relativo entre os observadores é expressado pela transformação de Lorentz. Assim, ao considerar um observador descrevendo um objeto físico no sistema  $S$ , localizado num ponto  $q = (x, y, t)$ . Observa-se que, no sistema  $S'$ , o evento estará localizado em um ponto  $q' = (x', y', t')$ . Dessa maneira, a relação entre um ponto e outro fica dada por

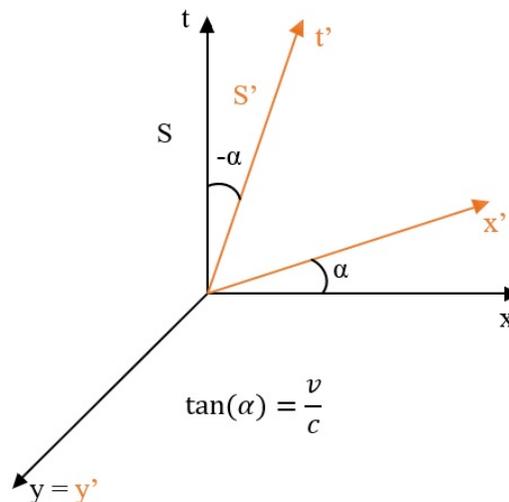
$$x' = \gamma(x + vt),$$

$$y' = y,$$

$$t' = \gamma\left(t + \frac{v}{c^2}x\right),$$

$$\gamma \equiv \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ (fator de Lorentz).}$$

Figura 20 – Transformação de Lorentz.



Fonte: Autor

Desse modo, para o regime de baixas velocidades, esses eventos são descritos pelas transformações de Galilei, enquanto que no regime de altas velocidades os eventos são descritos pelas transformações de Lorentz. Vale ressaltar que a ideia de espaço e tempo são as mesmas para os regimes de baixas e altas velocidades, tendo como único elemento diferenciador o sincronismo dos relógios.

Santana (2019) acrescenta que a velocidade luz,  $c$ , se trata de um limite de velocidade imposto experimentalmente. Segundo Halliday, Resnick e Walker, (2009, p. 148) a velocidade limite foi demonstrada em 1964 no experimento de <sup>5</sup>W. Bertozzi, onde, ao acelerar elétrons para que atingissem várias velocidades diferentes, obteve além da velocidade a energia cinética desses elétrons. Desta forma, através do experimento, conclui-se que por maior que seja a energia fornecida a um elétron (ou qualquer outra partícula com massa), a velocidade da partícula jamais se iguala ou supera a velocidade limite,  $c$ . Em outras palavras, quando uma força é aplicada em uma partícula massiva em altas velocidades, a energia cinética aumenta, mas a velocidade praticamente não varia.

<sup>5</sup>W. Bertozzi, é professor de física no MIT e fundador e desenvolvedor do Bates Linear Accelerator Center, onde atuou como chefe de operações de pesquisa. Atualmente dirige o Grupo de Interações Nucleares do LNS no MIT e é membro da American Physical Society e da American Association for the Advancement of Science. Ele possui B.S. e PhD (Física) pelo MIT, e é o inventor da tecnologia NRFI.

Logo, a ideia que se tem sobre energia precisa ser reformulada. Assim, a energia cinética passa a ser descrita, por

$$E = m_0 \gamma c^2.$$

A velocidade limite foi definida exatamente como  $c = 299.792.458$  m/s. Em suma, pode-se dizer que ao admitir uma velocidade qualquer  $v$  menor que  $c$ , esta não pode ser acelerada até equiparar-se ou exceder a velocidade da luz. Por conseguinte, esse, entre outros experimentos (como por exemplo, “a caixa de Einstein” proposto em 1906, na qual também aponta a velocidade da luz,  $c$ , como um limite de velocidades), indicam um gasto infinito de energia para fazer com que objetos massivos se movam na velocidade da luz. Para visualizar isso, basta, tomar um corpo que se move com velocidade  $v$ , cuja energia é expressa por

$$E = m_0 \gamma c^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Entende-se que, quanto mais  $v$  se aproxima de  $c$ , no limite, a energia que deve ser fornecida ao corpo tende ao infinito.

### 3.3 Crítica ao Ensino de Mecânica

Segundo os PCN+(2006), ao estudar os movimentos, primeiramente deve se identificar e classificar para, assim, ser possível descrever os movimentos de objetos do cotidiano (animais, carros etc.). Entretanto, para que isso seja possível, é necessário que os elementos que fornecem o entendimento acerca dos movimentos sejam bem desenvolvidos.

Logo, é imprescindível que os livros didáticos se proponham a tratar a física de forma mais clara e coesa. Dessa forma, ao abordar os conceitos físicos, não somente os de mecânica, deve-se fazer com que alunos entendam de maneira integral o que estão querendo lhes ensinar.

Ao analisar algumas referências didáticas na primeira seção deste capítulo, foi possível observar que os conteúdos estão apresentados com certa semelhança. No primeiro capítulo dos livros são apresentados os objetos de estudo da física. Em seguida, há o tratamento de algumas noções matemáticas, como por exemplo, operações com potências de 10, Algarismos significativos e transformações de grandezas físicas. É no segundo capítulo, que são tratadas as noções da cinemática, sendo, portanto, nesse exato momento que os conhecimentos básicos da mecânica são apresentados. Em geral, sob uma ótica com pouca ênfase conceitual e um tratamento matemático quase que exclusivo, verifica-se também que certos conceitos são apresentados como já esclarecidos, e ao tentar exemplificá-los, utilizam de elementos que fogem da compreensão dos alunos.

Dessa maneira, ao fazer análise das referências, os conceitos mecânicos não são evidenciados de forma explícita. Como apresenta Helou, Gualter e Newton (2014, p. 31), cujo o texto aqui apresentado, traz um discurso de difícil assimilação. E sob os olhos da experiência docente, observa-se que o tratamento dos exercícios e dos conteúdos estão voltados completamente para realização de vestibulares e nada preocupados com o aprendizado e a reflexão do indivíduo sobre o que foi estudado. De igual modo, os conceitos apontados no livro 4 são apresentados do mesmo modo que os outros livros, mesmo se tratando de um livro de ensino superior. Sendo assim, as noções dos conceitos são tratadas como se fossem conhecidas.

Dessa forma, não há uma preocupação por parte dos autores de L4 em apresentar de modo crível os conceitos de mecânica. Ao analisar estas referências, e acrescentando também L4, nos permite ir um pouco mais a fundo nessa crítica. De modo que, se há livros adotados na graduação de físicos; quer sejam licenciados ou bacharéis, temos um bom argumento do “porquê” se deve haver investimento na formação continuada de professores, uma vez que os materiais utilizados nos cursos de graduações também não são satisfatórios.

Sendo assim, na segunda seção deste capítulo, está apresentado de maneira bem clara e consistente, os conceitos relevantes para se ensinar mecânica, na qual, não são apresentadas de maneira sólida nos livros didáticos. Para tanto, há primeiramente a escolha de um ponto de partida para se falar das teorias do movimento.

Dessa forma, para física o mundo são as coisas que um indivíduo na posição de observador enxerga relações. A partir dessas relações, há a garantia de conformações, quer sejam estáticas ou não-estáticas. Então, com essas conformações, construímos as noções de espaço, tempo e movimento. Em seguida, há um passeio histórico pela apropriação da noção de tempo. Por último, um esclarecimento acerca das simetrias, o que vem a ser um estado mecânico e uma pontuação sobre os regimes de altas e baixas velocidades, mostrando que não há problema nenhum em tratar noções de relatividade na 1ª série, pois, na maioria das vezes, é adiado até os últimos meses da 3ª série do ensino médio, podendo ser suprimido devido aos vestibulares ou por conveniência do professor. Do contrário, os conteúdos quando apresentados, são entregues aos alunos de maneira quase que independentes.

Portanto, pelo que foi dito, é perceptível a importância dos facilitadores (análise histórica, relações, simetrias etc.) para o ensino de física. É importante ressaltar que este capítulo contribui para o ensino de mecânica. Assim, apresentaremos no capítulo a seguir os passos para a aplicação da sequência didática utilizando os conceitos desenvolvidos na seção 3.2.

## 4 METODOLOGIA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA APLICADA

Este capítulo tem por finalidade apresentar a metodologia utilizada junto a sequência didática desenvolvida. Dessa maneira, traremos na seção 4.1 a organização da sequência didática, em que objetivamos investigar de que forma uma sequência didática, pautada na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), através de uma UEPS, qualifica o ensino de física ao ensinar os conceitos iniciais de mecânica de forma consistente.

### 4.1 A Sequência Didática Estruturada

O presente trabalho foi desenvolvido no ano de 2019, numa instituição de ensino fundamental e médio da rede particular do Distrito Federal, localizado em Taguatinga, cidade satélite de Brasília. A condução deste trabalho contou com a participação de uma turma da 1ª série do ensino médio, matriculadas no turno matutino, tendo em média cerca de 30 alunos. Através de um caráter qualitativo, aconteceram durante 4 encontros, com duração de 50 minutos cada um. A sequência didática desenvolvida se baseia no modelo de uma UEPS, aplicada ao ensino de Mecânica (Apêndice A), em que, ao longo de toda aplicação, houve a valorização dos conhecimentos prévios dos alunos, buscando evidências de uma aprendizagem significativa. Buscando esclarecer o trabalho que foi desenvolvido, será exposto a seguir como transcorreu as atividades desenvolvidas nas aulas, em cada um dos encontros.

- 1º encontro: Apresentação da proposta aos estudantes, levantamento dos conhecimentos prévios (aplicação do pré-teste) e debate sobre: “O Mundo heurístico”.
- 2º Encontro: Aula-experimental sobre Espaço.
- 3º encontro: Aula-experimental sobre Tempo e Velocidade.
- 4º encontro: Orientação e confecção dos Mapas Conceituais.

#### 1º encontro:

No primeiro encontro houve a apresentação da proposta para os alunos, na sala de aula. Para isto, foi utilizado um datashow para a apresentação de slides e sempre que possível dando espaços para esclarecimentos sobre cada encontro e suas respectivas atividades. Assim, este primeiro momento foi dividido em 2 atividades.

**Atividade 1:** Foi solicitado aos estudantes que respondessem a um questionário sobre perguntas abertas tratando de conceitos relacionados à mecânica (APÊNDICE A) como situação inicial. Para este momento, foram utilizados 20 minutos da aula, e teve como objetivo

fazer uma investigação acerca dos conceitos prévios dos estudantes sobre o tema. Ausubel (2003) destaca que os conhecimentos prévios que os estudantes levam para a sala de aula são explicações práticas para os objetos e fenômenos, sendo na maioria das vezes pouco elaborados, precisando serem identificados e levados em consideração pelo professor.

**Atividade 2:** Nesta atividade, fizemos uma discussão sobre o tema: “O mundo heurístico”, utilizando o tempo final da aula, através de um debate aberto e utilizando o datashow. Após o término da discussão foi solicitado que os alunos se agrupassem e em seguida foram fornecidas folhas (papel A4) em branco para que registrassem coisas do cotidiano que podem ser comparadas. Para esta atividade foram utilizados 20 minutos.

## **2º encontro:**

O segundo encontro é destacado pela inserção do conceito de espaço, em princípio através de uma aula cotidiana, mas com o diferencial de que, ao longo do desenvolvimento do conceito, os alunos puderam participar ativamente através de atividades experimentais. Neste encontro ocorreram 2 atividades.

**Atividade 3:** Para isto, mais uma vez foi solicitado que os alunos ficassem em grupos. Em seguida, foram fornecidos diferentes tamanhos de barbante para cada grupo. Então o professor/aplicador da sequência insere o conceito de comprimento, através do conceito primitivo de relações, e solicita aos grupos que eles utilizassem os barbantes como instrumento comparativo das coisas que haviam dentro da sala de aula, caracterizando-a como uma situação-problema. Ao fim desta atividade, foram fornecidas folhas (papel A4) em branco para que registrassem o que foi possível relacionar. Para esta atividade foram utilizados 25 minutos.

**Atividade 4:** Dando continuidade à aula-experimental através dos conceitos primitivos de “relações” e “noção de profundidade” e concluindo a inserção do conceito de Espaço. Então, foram propostas novas situações-problema, agora em um grau maior de complexidade, levando em conta o princípio da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora. Assim, foi solicitado aos alunos, ainda agrupados, que escolhessem uma das coisas que relacionaram através do uso do barbante e, em seguida, utilizassem como instrumento de medida para as dimensões da sala de aula. Foram novamente fornecidas folhas (papel A4) em branco para que registrassem o que haviam medido e também comparassem entre os grupos. Para esta atividade foram utilizados 25 minutos.

**3º encontro:**

No terceiro encontro há a inserção do conceito de tempo, de forma semelhante à adotada no 2º encontro. Em seguida, há apresentação do conceito de velocidade. Neste encontro ocorreram 2 atividades.

**Atividade 5:** Esta atividade é iniciada com uma recapitulação histórica acerca do tempo, em seguida, através do uso de um pêndulo e de relações, é inserido o conceito de tempo. Na sequência, foi solicitado aos alunos que se agrupassem e a cada grupo foi entregue um pêndulo e algumas “bolinhas de gude”. Então, foi pedido que lançassem as bolinhas e utilizassem a marcação dos pêndulos como instrumento de medida para o tempo que as bolinhas levavam para percorrer a sala de aula. Por fim, foram fornecidas novas folhas (papel A4) em branco para que fizessem registro. Assim, nesta etapa houve a proposta de novas situações-problema, sendo cada vez mais complexas. Para esta atividade foram utilizados 25 minutos.

**Atividade 6:** Nesta atividade, novamente se utilizou o conceito primitivo de relações que possibilitou a inserção dos conceitos de espaço e tempo. Então, estando estes conceitos bem estabelecidos, pode-se criar novos conceitos, portanto, inserindo a noção de velocidade. Em seguida, é solicitado aos grupos que utilizem os barbantes e os pêndulos como instrumentos de medida para obter o comprimento do corredor e o tempo que leva para percorrê-lo, e então com o conceito de velocidade é estabelecido, comparando entre os grupos qual das equipes foi mais veloz ou quem foi menos e porquê o foram, novamente registrando em folhas fornecidas às equipes.

**4º encontro:**

No quarto e último encontro, há a construção dos mapas conceituais e também a aplicação do pós-teste, a fim de verificar o que entenderam ao longo dos encontros através de duas atividades.

**Atividade 7:** Inicialmente houve uma explicação sobre o que é, e como se faz para construir um mapa conceitual. Em seguida, foram mostradas às turmas alguns modelos de mapas conceituais já construídos. Então, novamente foram fornecidas folhas (papel A4) em branco e pediu-se aos alunos, junto de seus grupos, que construíssem os mapas conceituais sobre o que foi aprendido ao longo dos encontros. Para a atividade foram concedidos 30 minutos.

**Atividade 8:** Foi solicitado aos estudantes que respondessem a um questionário (com as mesmas questões aplicadas na atividade 1), tratando de conceitos relacionados à mecânica (Apêndice A) para verificar a evolução das respostas dos alunos.

Tabela 2: Organização da aplicação da sequência.

Organização da UEPS				
Encontros	Atividades	Objetivos	Tempo	Avaliação
1 <sup>o</sup>	Atividade 1	Investigar os conhecimentos prévios. (pré-teste)	20 min	Questionário (Apêndice A)
	Atividade 2	Utilizar de um organizador prévio para ancoragem do aprendizado.	30 min	Debate aberto sobre “O mundo heurístico” e produção textual
2 <sup>o</sup>	Atividade 3	Apresentar situações-problema; Inserir o conceito de relações.	25 min	Produção textual
	Atividade 4	Apresentar novas situações-problema em níveis mais complexos levando em conta o princípio da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora; Inserir a noção de espaço.	25 min	Produção textual
3 <sup>o</sup>	Atividade 5	Apresentar situações-problema em níveis cada vez mais complexos; Inserir a noção de tempo	25 min	Produção textual
	Atividade 6	Apresentar situações-problema em níveis cada vez mais complexos levando em conta o princípio da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora; Inserir a noção de velocidade	25 min	Produção textual
4 <sup>o</sup>	Atividade 7	Explicar o que é e construir um mapa conceitual	30 min	Construção do Mapa Conceitual
	Atividade 8	Avaliação somativa	20 min	Questionário (Apêndice A)

Dessa forma, pudemos estruturar o trabalho desenvolvido. Sendo assim, pudemos organizar a sequência, como mostrou a tabela 2. Assim, no capítulo seguinte, apresentamos análises e discussões sobre a UEPS aplicada. Buscando, a cada passo, indícios de aprendizagem significativa.

## 5 ANÁLISE E DISCUSSÃO

Este capítulo tem por objetivo tratar sobre os dados coletados durante a aplicação da UEPS. Em que avaliamos qualitativamente os dados obtidos na pesquisa. A sequência didática foi aplicada no segundo semestre de 2019, ao longo de quatro encontros com uma turma de estudantes da primeira série do ensino médio de uma escola da rede privada de Taguatinga, Distrito Federal. Por questões éticas, os nomes dos alunos não foram citados, sendo chamados por números ( $A_1, A_2, \dots, A_n$ ) ou ainda, os grupos ( $G_1, G_2, \dots, G_n$ ). Dessa forma, tomamos como instrumentos avaliativos a produção textual, a qual nos permite averiguar como os alunos expressam o que sabem ou que entenderam através da escrita. Para isto, utilizamos um pré-teste, os escritos produzidos ao término das atividades desenvolvidas e também um pós-teste. Um outro instrumento utilizado, foram os mapas conceituais sugeridos por Moreira (2012), que nos permite compreender como os alunos organizam os conteúdos em sua estrutura cognitiva.

### 5.1 Investigando os Conhecimentos Prévios

No primeiro encontro através da atividade 1, foi solicitado aos estudantes que respondessem a um questionário. Contendo 5 perguntas abertas, tratando de conceitos relacionados à mecânica (APÊNDICE A), como situação inicial. Para este momento, foram utilizados 20 minutos da aula, tendo como objetivo investigar acerca dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre o tema. Ausubel (2003) destaca que os conhecimentos prévios que os estudantes levam para a sala de aula são explicações práticas para os objetos e fenômenos, sendo na maioria das vezes pouco elaborados, precisando serem identificados e levados em consideração pelo professor. Dessa forma, será apresentado a seguir, uma análise de cada uma das questões tratadas no questionário.

A respeito da pergunta número 1, ao questionar os alunos “O que é tempo?”, eles responderam:

- “São os...segundos, minutos, horas...gastos para realizar alguma ação.” ( $A_5$ )  
 “Tempo é relativo. Em alguns planetas passa mais rápido ou mais devagar, em relação a Terra.  
     É aquilo que acontece a todo instante, nunca para.” ( $A_{10}$ )  
     “É algo utilizado para controlar nosso dia a dia.” ( $A_{18}$ )  
 “O tempo é referente a tudo aquilo que pode ser medido em determinada parte da história.”  
     ( $A_{23}$ )

Assim, notou-se que boa parte dos alunos relacionava o tempo à suas unidades de medida (segundos, minutos, horas etc.). Para alguns, o entendimento sobre o tempo estava

conectado a algo rotineiro. Ou ainda, que era através do tempo que organizávamos o nosso dia a dia. Houve aqueles que responderam que não sabiam e também aqueles que deixaram em branco. A respeito da pergunta número 2, ao interrogar os alunos “O que é espaço?”, eles responderam:

“É uma determinada área onde é possível realizar algum tipo de movimento.” (A<sub>2</sub>)  
 “Tudo é um espaço, a Terra, sua casa, os planetas.” (A<sub>15</sub>)  
 “É um lugar ou uma parte do universo.” (A<sub>21</sub>)

Para esta pergunta, verificou-se que a grande maioria dos alunos tinha o entendimento do espaço como um lugar ou uma área que fornecia o posicionamento de algo. E uma pequena parte tinha o entendimento de que o espaço é tudo que nos cerca.

A pergunta de número 3, ao indagar os alunos “O que é movimento?”, eles tinham um entendimento de que o movimento seria:

“É a possibilidade que o corpo tem de sair de um lugar para outro ou até mesmo em repouso”. (A<sub>3</sub>)  
 “O movimento é aquilo que um corpo faz ou então é influenciado a fazer para se locomover de um ponto a outro.” (A<sub>16</sub>)  
 “Um deslocamento de um corpo para outro lugar.” (A<sub>4</sub>)  
 “Movimento é aquilo que algum corpo ou material faz para se movimentar ou toma alguma atitude parecida para fazer um movimento.” (A<sub>21</sub>)

Dessa pergunta, observou-se que todos os estudantes associam a noção de movimento com a mudança de posição de um dado objeto. Evidenciando o senso comum que se tem com relação ao movimento. Das respostas, há um nítido entendimento de que, se há alteração do lugar, ocorreu algum movimento.

Quanto à pergunta de número 4, ao questionar os alunos “Quais as características das grandezas associadas ao movimento?”, eles responderam:

“São grandezas escalares e vetoriais.” (A<sub>9</sub>)

Nessa questão, em especial, observou-se que a maior parte dos alunos optou por não responder, deixando o espaço em branco. Entretanto, os poucos que responderam o fizeram de forma idêntica ao aluno (A<sub>9</sub>), deixando claro que o pouco que sabiam, está diretamente relacionado ao entendimento que é tratado nos livros didáticos de física.

A pergunta de número 5, ao questionar os alunos “Quais tipos de movimentos você conhece?”, eles responderam:

“M.R.U, M.R.U.V e M.C.U” (A<sub>16</sub>)

Dessa pergunta, notou-se que a grande maioria dos alunos responderam de forma semelhante ao aluno ( $A_{16}$ ), e os restantes, optaram por não responder. E mais uma vez se observou que o entendimento acerca dos tipos de movimento são os mesmos exemplificados nos livros.

Contudo, ao aplicar o pré-teste verificamos que, no geral, boa parte dos alunos tinha alguma noção dos conteúdos abordados, sinalizando positivamente que possuíam conhecimentos prévios para o entendimento dos conceitos de mecânica. Ainda que presos a uma ótica livresca e também ao senso comum, indicando elementos a serem filtrados pelo professor, vale pontuar também que houve alunos que ao responder as perguntas, informaram que não sabiam respondê-las.

## 5.2 Utilizando um Organizador Prévio

Ainda no primeiro encontro, admitindo que os alunos tinham os conhecimentos prévios necessários, foi realizada a atividade 2. Nesta atividade, foi feito uso de um datashow, para que se pudesse expor algumas imagens.

Figura 21 – Transparência utilizada na apresentação.



Então, por meio dessa atividade se inseriu o conceito primitivo de “relações”, como um organizador prévio dos assuntos tratados ao longo da sequência. Fizemos uma discussão sobre o tema: “*O mundo heurístico*”, tratando sobre as coisas que definem a própria noção de mundo, numa perspectiva mais realista da física.

“Que coisas relacionamos no nosso cotidiano?” (*Prof.*)

“Quando minha mãe vai temperar a comida, geralmente ela sempre coloca duas a três colheres de tempero!” ( $A_1$ )

“O valor que pagamos por tantas bolas de sorvete!” ( $A_{12}$ )

“O que fazer a cada cor do sinal de trânsito!” ( $A_8$ )

“É verdade, tudo que observamos fazemos alguma comparação, quer seja para lembrar, ou para avaliar. Por exemplo, estamos aqui na sala de aula, os pais de vocês foram para o trabalho.

Ou ainda, a minha camisa é muito maior que a camisa do ( $A_3$ )!” (*Prof.*)

“Caramba professor! Eu vi na televisão que um dia fizeram a maior pizza do mundo!” ( $A_{25}$ )

“Isso! Se alguma coisa existir, podemos fazer relações pra tentar descrevê-la!” (*Prof.*)

Através da discussão, houve a preservação do diálogo, do qual todos da sua maneira pudessem contribuir com o desenvolvimento do tema trabalhado. Sendo muitas das vezes por meio de momentos como esses que o professor consegue alcançar seus alunos, que nem sempre estão dispostos a participar da aula. Segundo Moreira (2012), os organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do material de aprendizagem em si.

Após o término da discussão, foi solicitado aos alunos que se agrupassem e em seguida, foram fornecidas folhas (papel A4) em branco, para que registrassem coisas existentes no seu cotidiano com que eles pudessem fazer alguma comparação. Para esta atividade foram utilizados 20 minutos.

- “Os diferentes tipos de pimenta que minha vó tem na chácara”, “O carro do meu pai é mais novo que o do meu tio” ( $G_1$ )
- “Meu cachorro é maior do que o da minha vizinha”, “Nós do grupo 2 temos tamanhos diferentes” ( $G_2$ )
- “O cabelo do  $A_{15}$  é mais liso que o meu”, “O celular do  $A_{22}$  é mais novo que o meu.” ( $G_3$ )
- “O  $A_{20}$  mora bem perto da escola, quando comparado com  $A_{16}$ ”, “Hoje está mais quente que ontem” ( $G_4$ )
- “As folhas do meu caderno estão acabando”, “A janela da sala é maior que a janela do meu quarto” ( $G_5$ )

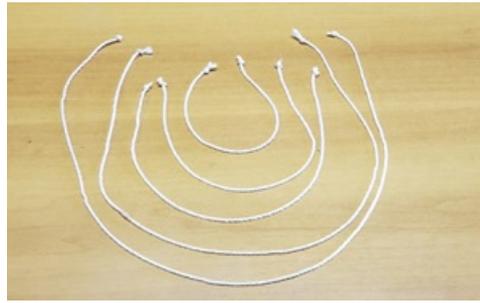
Ao término do primeiro encontro, pôde-se notar uma grande participação dos alunos, indo ao encontro das prerrogativas de Ausubel (2003), em que para se aprender de maneira significativa além dos conhecimentos prévios adequados, é preciso que os alunos queiram aprender.

### 5.3 As Situações-Problema

As situações-problema foram tratadas através da utilização de grupos. Sendo abordadas tanto no segundo encontro quanto no terceiro, em que foram abordadas em níveis distintos de complexidade.

No segundo encontro, já com a noção de “relações” desenvolvida ao término do encontro anterior, através da atividade 3, foi inserida a noção de comprimento ao propor a primeira situação-problema, em que os alunos deveriam utilizar um barbante como instrumento comparativo para os diferentes objetos existentes na sala de aula. Para tanto, foi solicitado aos alunos que se agrupassem, e então, foi entregue um pedaço de barbante, de tamanhos diferentes para cada um dos grupos.

Figura 22 – Barbantes utilizados pelos grupos.



Em seguida, foi explicado aos alunos que ao comparar, iria emergir números que representam o valor de uma grandeza que poderá ser nomeada de forma arbitrária pelos grupos. Os barbantes foram nomeados pelos grupos, da seguinte forma:

- “Benedita (Bt)” ( $G_1$ )
- “Alho (Al)” ( $G_2$ )
- “Meisaque (Mq)” ( $G_3$ )
- “Carol (Cr)” ( $G_4$ )
- “Dino (Dn)” ( $G_5$ )

Assim, o barbante fornecido passa a ser o instrumento de medida da grandeza nomeada. Dessa maneira, foi fornecida uma folha de papel (A4), para que ao término de cada comparação, fizessem o registro sobre o que foi relacionado. Então, através do uso do barbante, agora nomeado, fizeram as seguintes comparações:

- “Da mesa ao chão, dão 2,5 Bt”, “Para medir o quadro, utiliza-se 15,5 Bt” ( $G_1$ )
- “1 Al, equivale ao diâmetro do pescoço do  $A_{30}$ ”, “São necessários 3 Al, para medir do chão até a mesa” ( $G_2$ )
- “1Mq tem o tamanho de 4 ombros do  $A_9$ ”, “1Mq tem metade do tamanho de  $A_5$ ” ( $G_3$ )
- “1 Cr é metade da janela da porta” “1 Cr é menor que 1 palmo” ( $G_4$ )
- “1 Dn é igual a 4 celulares”, “1 Dn é maior que o braço do  $A_{10}$ ” ( $G_5$ )

Ao longo dessa atividade, foi possível observar que sempre que iriam iniciar uma comparação de um dado objeto, os alunos discutiam previamente a melhor forma de realizar a comparação.

Com o tempo restante da aula, apresentou-se um novo conceito primitivo, a noção de profundidade. Em seguida, já na atividade 4, foi proposta uma nova situação-problema, agora em um grau maior de complexidade, levando em conta o princípio da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora. Foi solicitado aos alunos, ainda agrupados, que escolhessem um dos objetos registrados ao relacionar com seus barbantes. Então, com o conceito primitivo de profundidade e também o de relações, orientou-se aos alunos utilizar o objeto escolhido, para medir as dimensões da sala.

“braço” ( $G_1$ )  
 “cadeira” ( $G_2$ )  
 “copo” ( $G_3$ )  
 “mochila” ( $G_4$ )  
 “estojo” ( $G_5$ )

Neste momento, houve bastante conversa entre os grupos trocando ideias de como poderiam fazer suas medidas. Assim, optaram por escolher a parede do quadro, a parede lateral que separa a parede do quadro com a parede ao fundo da sala e a medida entre o chão e o teto. Então, ao medir as dimensões da sala fizeram as seguintes, relações:

- “A parede do quadro mede 4,5 braços, da parede quadro até a parede oposta no final da sala temos 10 braços de separação e do chão até o teto 4 braços” ( $G_1$ )  
 “A parede do quadro mede 12 cadeiras, da parede quadro até a parede oposta no final da sala temos 22 cadeiras de separação e do chão até o teto 7 cadeiras” ( $G_2$ )  
 “A parede do quadro mede 22 copos, da parede quadro até a parede oposta no final da sala temos 34 copos de separação e do chão até o teto 22 copos” ( $G_3$ )  
 “A parede do quadro mede 8 mochilas, da parede quadro até a parede oposta no final da sala temos 19 mochilas de separação e do chão até o teto 8 mochilas” ( $G_4$ )  
 “A parede do quadro mede 16,5 estojos, da parede quadro até a parede oposta no final da sala temos 25,5 estojos de separação e do chão até o teto 10,5 estojos” ( $G_5$ )

Com as medidas realizadas pelos alunos chegamos aos conceitos de largura, comprimento e altura. Com os valores obtidos e com os registros dos alunos, tornou possível construir as tabelas a seguir, cujas medidas foram convertidas para as unidades nomeadas pelos alunos anteriormente.

Tabela 3: Relação unidade de medida e objeto escolhido.

Grupos	Objeto	Unidade $G_n$
$G_1$	1 Braço	31 Benedita (Bt)
$G_2$	1 Cadeira	2 Alhos (Al)
$G_3$	1 Copo	0,5 Meisaque (Mq)
$G_4$	1 Mochila	1 Carol (Cr)
$G_5$	1 Estojo	0,33 Dino (Dn)

Tabela 4: Dimensões da sala.

Grupos	Comprimento	Largura	Altura
$G_1$	310 Bt	139,5 Bt	124 Bt
$G_2$	44 Al	24 Al	14 Al
$G_3$	17 Mq	17 Mq	11 Mq
$G_4$	19 Cr	8 Cr	8 Cr
$G_5$	8,5 Dn	5,5 Dn	3,5 Dn

Dessa maneira, tornou-se possível inserir a noção de espaço. Pois, com as coordenadas da sala, passou a ser possível mapear qualquer objeto presente na sala, uns com relações

aos outros. Novamente, houve entrega de uma folha de papel (A4) para que registrassem as relações citadas acima. Sobre esta atividade um aluno fez o seguinte comentário, “...*que massa professor! Eu jurava que ia morrer achando que espaço era apenas delta s* ( $\Delta s = s_f - s_i$ ).

O terceiro encontro teve início com uma recapitulação histórica sobre o tempo. Assim, houve um tratamento acerca da contribuição de grandes nomes da física na tentativa de mensurar o tempo. Em seguida, através da atividade 5, em que foram utilizados 25 minutos para a sua execução, os alunos foram convidados a uma nova situação-problema, em nível maior de complexidade. Dessa maneira, utilizou-se de um pêndulo fornecido a cada grupo, bolinhas de gude e também o conceito de relações, para se inserir o conceito de tempo.

Figura 23 – Pêndulos utilizados pelos grupos.

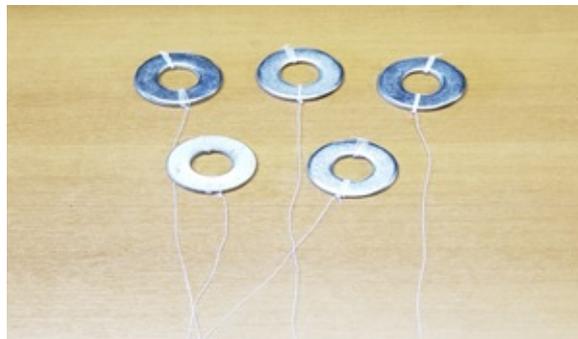


Figura 24 – Bolinhas de gude utilizadas pelos grupos.



Após a entrega do material listado anteriormente, foi pedido aos grupos que lançassem as bolinhas e utilizassem a marcação dos pêndulos como instrumento de medida para o tempo. Desse modo, a contagem ocorreu desde o momento de lançamento das bolinhas, em que os alunos estavam na parede do quadro da sala, até elas encostarem na parede oposta. Para tornar a medida mais assertiva, os alunos mediram três vezes e depois tiraram a média aritmética das medidas. Os ciclos foram datados numa nova uma folha de papel (A4), cujos valores foram postos na tabela a seguir.

Tabela 5: Medidas dos ciclos.

<b>Grupos</b>	<b>1º Medida</b>	<b>2º Medida</b>	<b>3º Medida</b>	<b>Média dos Ciclos</b>
$G_1$	6	4	3	4,3
$G_2$	2,3	3	3	2,7
$G_3$	3	5,5	3,5	4
$G_4$	4	4	3	5,5
$G_5$	4	2,5	2	2,3

Dando continuidade ao terceiro encontro, agora na atividade 6, tivemos a inserção do conceito de velocidade. Para isso, utilizou-se dos conceitos de espaço e tempo introduzidos através do conceito primitivo de relações. Sabendo que as situações-problema devem sempre ser postas cada vez em maior nível de complexidade e que se deve levar em conta os princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora, foi pedido para julgar qual bolinha de gude se movimentava mais rápido ou mais devagar, segundo o conceito de velocidade. Então, houve a pretensão de escolher um único barbante entre todos os grupos, uma vez que para se julgar o movimento em “mais rápido” ou “menos rápido”, implicitamente está incluída a noção de espaço, na qual a distância, possui valor fixo. Dessa forma, foi escolhida arbitrariamente o barbante do grupo  $G_2$ , cujo a medida do comprimento da sala era 44 Al. Assim, ao utilizar os valores médios dos ciclos postos na tabela 5, pôde-se construir a tabela 6.

Tabela 6: Velocidade das bolinhas de gude.

<b>Grupos</b>	<b>Comprimento(Al)</b>	<b>Média dos Ciclos</b>	<b>Velocidade (Al/ciclo)</b>
$G_1$	44 Al	4,3	10,23
$G_2$	44 Al	2,7	16,29
$G_3$	44 Al	4	11,00
$G_4$	44 Al	5,5	8,00
$G_5$	44 Al	2,3	19,13

Tornando possível ter o entendimento que quanto mais rápido um objeto se move, maior será a sua velocidade, levando os alunos a compreender que a bolinha de gude do grupo  $G_5$  se move mais rápido que as demais, e que a bolinha de gude do grupo  $G_4$  é a mais lenta, quando comparada as outras. Lembrando que, nessa atividade, também houve fornecimento de folha de papel (A4), permitindo que os alunos registrassem os valores da tabela 6. E sem que houvesse nenhum comando, os grupos por conta própria converteram o valor do comprimento para as suas respectivas unidades, obtendo, portanto, velocidades com sua unidade, como mostra a tabela 7 a seguir:

Tabela 7: Velocidade das bolinhas de gude com as unidades dos grupos.

Grupos	Velocidade (Al/ciclo)	Velocidade (Unidade $G_n$ /ciclo)
$G_1$	10,23	72,09 Bt/ciclo
$G_2$	16,29	16,29 Al/ciclo
$G_3$	11,00	4,25 Mq/ciclo
$G_4$	8,00	3,4 Cr/ciclo
$G_5$	19,13	3,29 Dn/ciclo

Ainda na atividade 6, utilizamos um simulador, com o qual foi possível tratar de espaço e tempo em regime de altas velocidades.

Figura 25 – Simulador utilizado.



Desse modo, foi possível fazer uma introdução conceitual à relatividade restrita, como uma situação-problema em um grau maior de abstração, em que foi esclarecido sobre o fato das noções de espaço e tempo serem as mesmas, tendo, portanto, como elemento diferenciador a sincronicidade dos relógios. Desse modo, através do simulador, possibilitou-se que os alunos visualizassem o acontecimento de dois eventos, que ao partirem do centro do retângulo, o tempo (para se visualizar dois feixes de luz, tocar cada extremidade) mudava em relação a dois observadores, sendo, que um estava dentro do vagão e o outro estava fora.

Figura 26 – Simulador mostrando a diferença entre os tempos dos eventos.



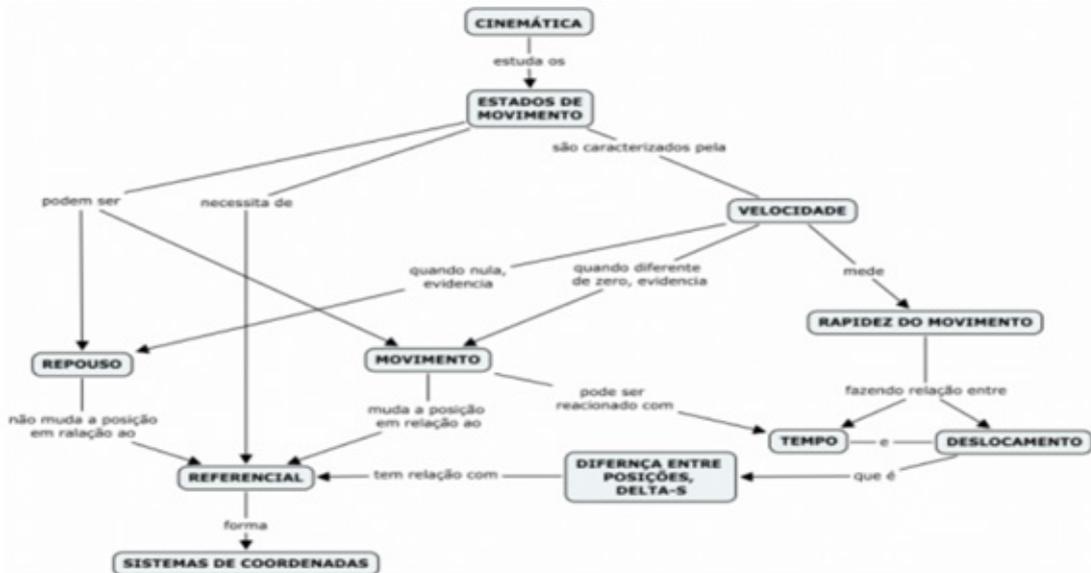
Dessa maneira, à medida que o valores da velocidade dos eventos se aproximava do valor da velocidade da luz, o evento um divergia do evento dois, ao mostrar que os mesmos não eram percebidos ao mesmo tempo.

Chegado ao quarto e último encontro, ocorreram duas atividades. A primeira delas, a atividade 7 que teve como propósito à construção de mapas conceituais. A aula foi iniciada com a explicação sobre “o que é e como se faz para construir um mapa conceitual”. Ao apresentar as orientações iniciais, houve a preocupação de mostrar aos alunos exemplos de mapas conceituais já prontos e quais elementos seriam importantes na sua produção. Como ilustra, as figuras 27 e 28 a seguir.

Figura 27 – Exemplo de mapa conceitual nº 1.



Figura 28 – Exemplo de mapa conceitual nº 2.



Dessa forma, foram fornecidas novamente folhas de papel (A4) para que os alunos junto de seus grupos, pudessem construir seus mapas conceituais, gerando um mapa por grupo. Dos mapas construídos, foram escolhidos alguns e mostrados a seguir.

Figura 29 – Mapa conceitual construído nº 1.

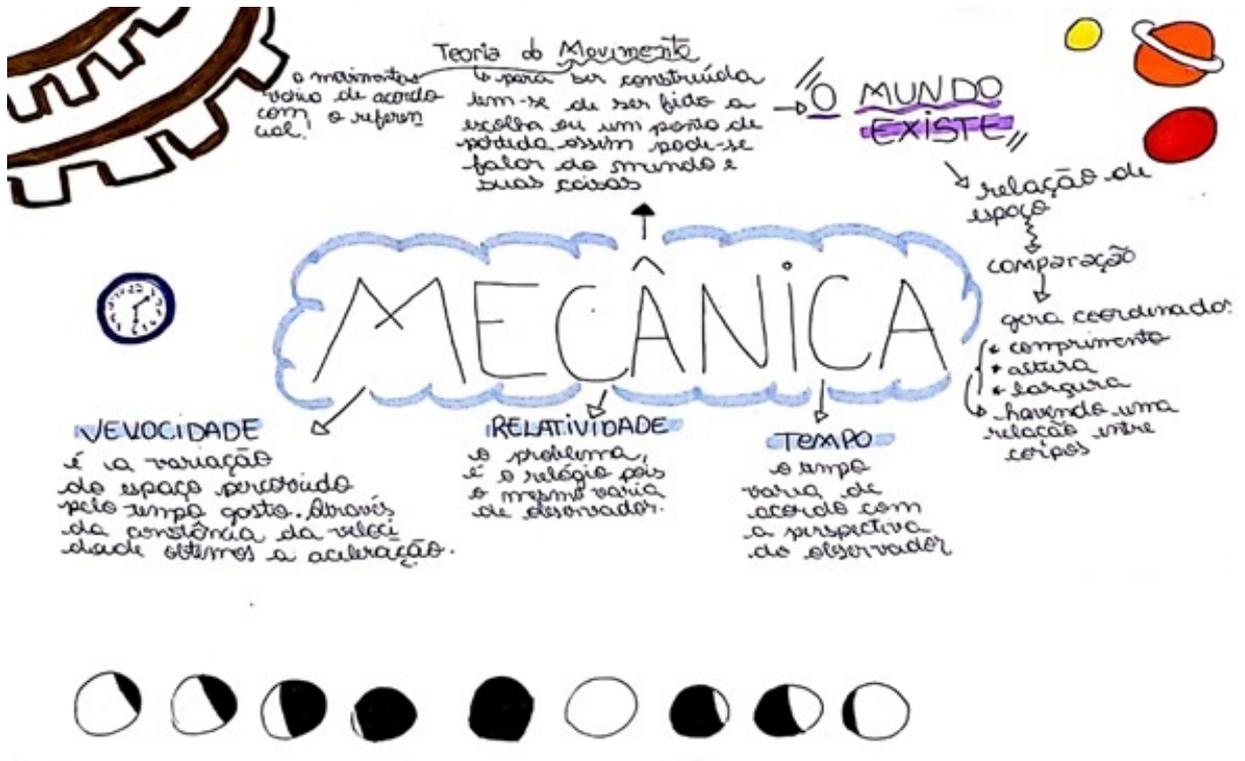


Figura 30 – Mapa conceitual construído nº 2.

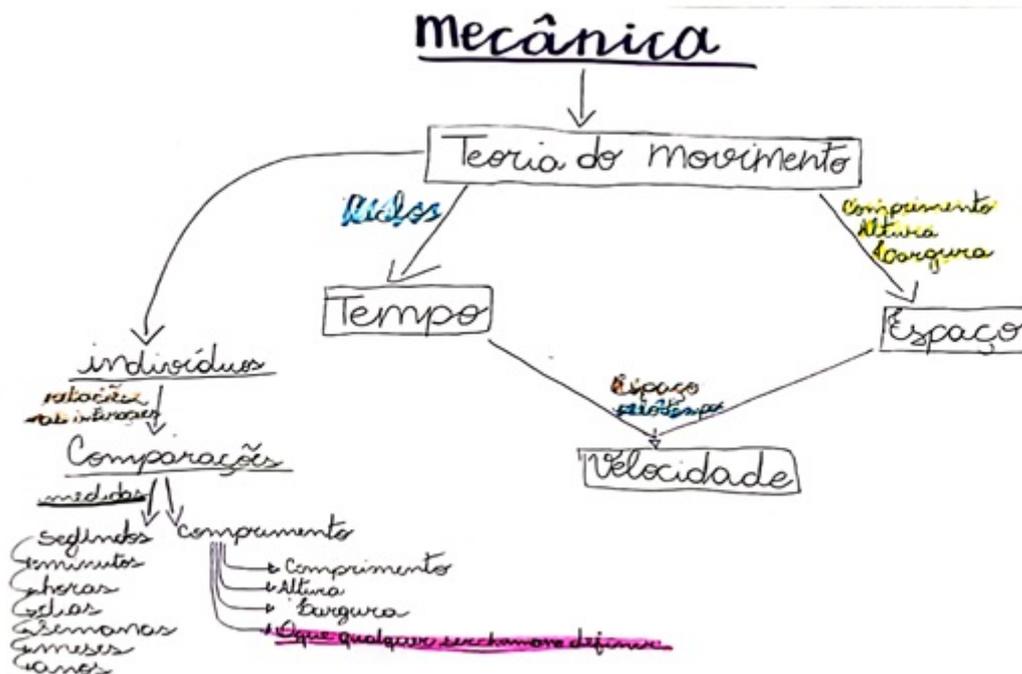
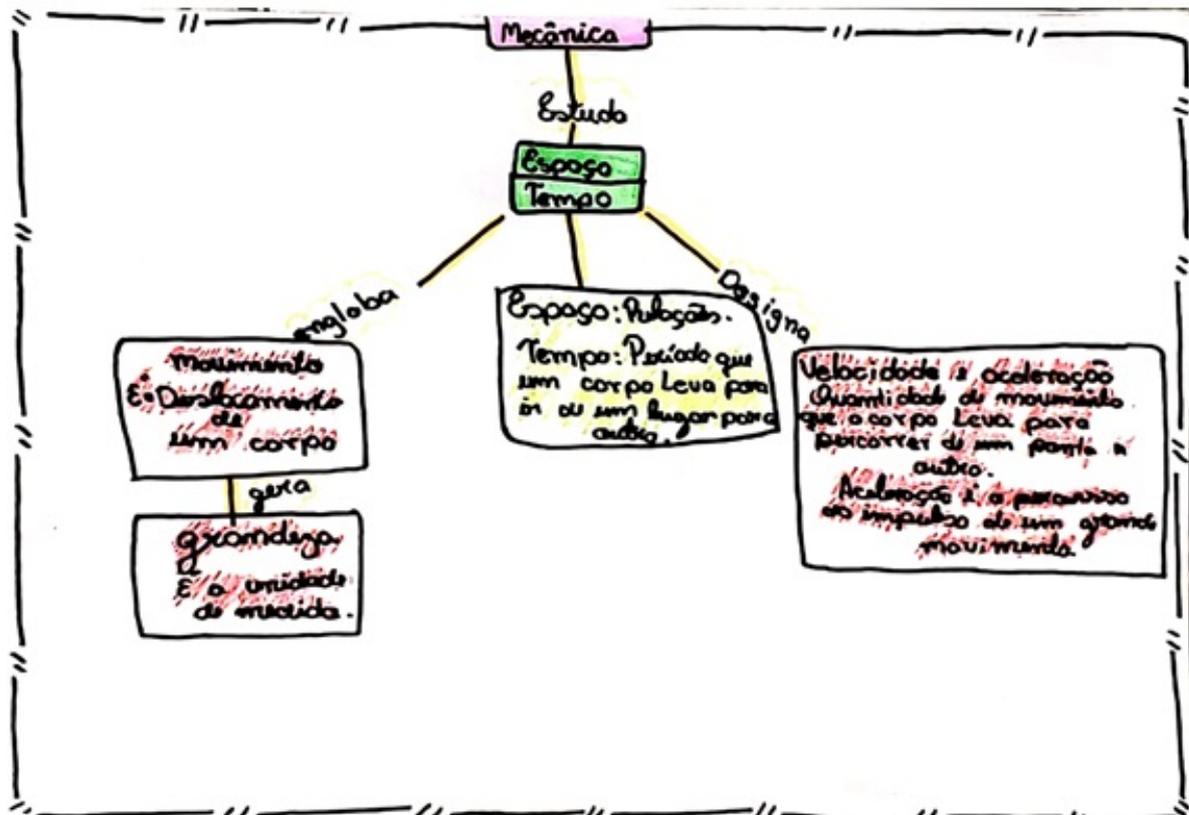


Figura 31 – Mapa conceitual construído nº 3.



Dos mapas construídos, observou-se que ficaram bons. Embora os grupos não tenham enriquecido mais os seus mapas; entretanto, verificou-se evidências de aprendizagem significativa devido aos conteúdos contidos nos mapas. Vale ressaltar que, segundo Moreira (2012) cada mapa é único, não podendo ser classificado em certo ou errado.

#### 5.4 A Avaliação Somativa

Ainda no quarto encontro, tivemos um último momento, a realização da atividade 8, sendo, portanto, uma avaliação somativa, caracterizada pela aplicação do pós-teste, contendo as mesmas perguntas do pré-teste realizado na atividade 1. A realização dessa atividade teve por objetivo encontrar indícios de aprendizagem significativa, lembrando sempre que o processo de buscar evidências de aprendizagem significativa através de uma UEPS acontece ao longo da aplicação e nunca em uma situação final como uma avaliação por exemplo, pois o que se leva em conta é o processo e não o resultado final. Dessa forma, uma aprendizagem significa se pautar na aquisição de significados por parte dos alunos. Logo, um professor que objetiva ensinar significativamente qualquer conteúdo deve oferecer situações que possibilitem seus alunos vir a pensar, refletir e assim, compreender o que foi ensinado.

Então, ao analisar a primeira pergunta do pós-teste, ao questionar os alunos “O que

é tempo?”, eles responderam:

“O tempo é algo que conseguimos medir de várias formas. Sendo pelo sol, por um pêndulo etc. (A<sub>5</sub>)

“É o termo utilizado para se referir ao movimento. Alho que determina um certo período para as ações.” (A<sub>10</sub>)

“É utilizado para medir a duração das coisas, onde quem cria é o ser humano.” (A<sub>18</sub>)

“Se dá pela criação humana, algo para definir e facilitar as atividades do dia-a-dia” (A<sub>23</sub>)

Ao analisar as respostas dos alunos, verifica-se que há uma mudança no entendimento acerca do tempo, pois passam a compreender que o tempo é algo que pode ser medido através de relações. Podendo compreender, também, que a ideia que a sociedade tem sobre o tempo se trata de uma construção social para organizar suas atividades diárias.

Na pergunta seguinte, número 2, ao interrogar os alunos “O que é espaço?”, eles responderam:

“É a medida utilizada para saber a localização de um corpo.” (A<sub>15</sub>)

“É o local onde o corpo está localizado” (A<sub>21</sub>)

“A medida do espaço é aquela que conseguimos obter através do comprimento, da largura e da altura.” (A<sub>2</sub>)

Dessa indagação observa-se que boa parte dos alunos passaram a ter a noção de espaço. Ao pontuar sua relação com a localização de um dado corpo. Também houve alunos que optaram por não responder à pergunta, deixando-a em branco. Desta questão, nota-se também, que há uma fuga da definição tratada nos livros em que o espaço se restringe somente a um determinado caminho percorrido.

A pergunta de número 3, ao indagar os alunos “O que é movimento?”, eles tinham um entendimento de que o movimento seria:

“É a relação existente entre o espaço e o tempo.” (A<sub>3</sub>)

“É tudo aquilo que contém uma determinada velocidade” (A<sub>16</sub>)

“É uma ação realizada em um determinado espaço e tempo, que gerou a velocidade e depois a aceleração.” (A<sub>4</sub>)

“Quando há variação do espaço existe a velocidade e a aceleração.” (A<sub>21</sub>)

Ao analisar a pergunta 3 do pós-teste, observa-se que, em geral, os alunos entenderam que o movimento passa a ser fruto do espaço com o tempo. Dessa maneira, através dessa relação, obtém-se a velocidade, depois a aceleração e, se ainda quiser, encontrar as derivadas da aceleração. Houve uma clara mudança conceitual quando os alunos abandonaram o senso comum e passaram a enxergar que o movimento está conectado com as noções de espaço e de tempo ao serem relacionados.

Quanto à pergunta de número 4, ao questionar mais uma vez aos alunos “Quais as características das grandezas associadas ao movimento?”, eles responderam:

“O tempo e o espaço onde os dois associados geram o movimento como velocidade.” (A<sub>9</sub>)  
“Grandezas associadas ao movimento, têm como base o tempo e o espaço.” (A<sub>20</sub>)

Novamente observou-se que a maioria dos alunos optaram por não responder essa pergunta. Entretanto, os que responderam concordam com as respostas dos alunos A<sub>9</sub> e A<sub>20</sub>. Dos que responderam, pôde-se ter o entendimento de que, ao se caracterizar o movimento, estas por sua vez devem ir ao encontro das características das noções de espaço e tempo. Sendo estas, portanto, as grandezas que estão associadas ao movimento.

Chegando na pergunta de número 5, ao questionar outra vez aos alunos “Quais tipos de movimentos você conhece?”, esperava-se que eles pontuassem sobre o entendimento de movimento associando com velocidade, aceleração e derivadas da aceleração. Contudo, a maioria dos alunos optou por não responder essa pergunta, e os poucos que responderam, repetiram as mesmas repostas do pré-teste. Logo, ao realizar essa última atividade, foi observado uma grande evolução conceitual dos alunos.

Dessa forma, ao analisar a UEPS aplicada, buscou-se avaliar qualitativamente todos os processos realizados ao longo da aplicação, em que os instrumentos utilizados permitiram tal perspectiva. Logo, o que fora avaliado foram as evidências de uma aprendizagem significativa denotadas pelos escritos dos alunos e pelos mapas conceituais. Durante a aplicação, observou-se que os alunos participaram com bastante afinco, assim, podendo ser observado que as aulas de física podem ser interativas, desde que haja um planejamento. Dessa maneira, ao longo das atividades desenvolvidas junto a sequência aplicada, ficaram nítidas as evidências de uma aprendizagem significativa.

A sequência didática analisada neste capítulo explicita que há sempre caminhos possíveis para se alcançar os alunos. Do contrário, o ardor vocacional com que é provada a prática docente não teria sentido algum. Portanto, no capítulo seguinte serão tratadas as considerações finais desse trabalho.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção desse trabalho, em suma, baseou-se sobre a perspectiva de Ausubel (1968). Buscamos evidências de aprendizagem significativa, ao construir uma sequência didática no formato de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) proposta por Moreira (2011). Dessa maneira, desenvolvemos, aplicamos e avaliamos qualitativamente a sequência que tinha como foco a aprendizagem dos conceitos iniciais da mecânica.

Sendo assim, nesse trabalho, explicitamos que tais conceitos não são entregues de maneira consistente, sendo tal fato observado tanto nos livros de ensino médio, quanto nos de uso universitário, conduzindo o estudante a uma não-reflexão do que se aprende, pois tudo que lhe é ensinado, como traz algumas referências analisadas, têm o claro objetivo da resolução de vestibulares. No caso desse trabalho, além da fugir do modelo tradicional lousa-pincel, buscamos também apresentar de maneira robusta os conceitos mecânicos.

Dessa forma, através de uma perspectiva realista da física, tomamos como ponto de partida para nosso estudo o existir do mundo, pois, para a física as coisas são o mundo. Portanto, nós enquanto observadores, enxergamos nas coisas relações e a partir dessas relações por nós observadas, passamos a perceber conformações.

Assim, partindo desses dois conceitos primitivos podemos inserir as noções de espaço, tempo e movimento. Procuramos também, deixar claro que não precisa haver distanciamento entre a mecânica newtoniana e a relativística, uma vez que tais conceitos são separados completamente ao longo do ensino médio. Assim, basta que se esclareça que as noções tratadas em ambas as mecânicas são as mesmas, tendo como elemento diferenciador a sincronidade dos relógios dos observadores. Logo, para o regime de baixas velocidades, utilizamos a mecânica de Newton e para o regime de altas velocidades, utilizamos a mecânica relativística. Esclarecemos também que a velocidade da luz se trata de um limite ao envio de sinais. Para tanto, mostramos que caso se deseje por um objeto massivo para se mover com velocidade  $c$ , o gasto seria infinito. Vale ressaltar que não há problema nenhum na admissão de um corpo que se mova com velocidade  $c$ .

Assim, ao desenvolver uma UEPS tratando de conceitos mecânicos, observamos uma prática possível para o ensino de física, em que, ao utilizar de uma estratégia didática diferente do uso cotidiano, pôde possibilitar aos alunos uma aprendizagem significativa. Desse modo, ao analisar qualitativamente os dados coletados tanto pela escrita dos alunos quanto pela construção dos mapas conceituais durante a aplicação da sequência, fica nítido a presença de evidências de uma aprendizagem significativa, e que da mesma maneira com que foram desenvolvidos os conceitos de espaço, tempo e movimento, poderíamos tratar dos conceito de

força, trabalho, temperatura, etc.

Um ponto que deve ser evidenciado dessa prática, foi que durante a aplicação, ficou nítido o entusiasmo da maioria dos alunos ao estarem realizando uma prática científica, além da reação que tinham ao estarem descobrindo algo por suas mãos.

Portanto, esperamos que esse trabalho possa vir a contribuir com a prática docente, sendo um caminho viável para que os professores possam vir a impactar seus alunos. Portanto o ensino de física não precisa essencialmente só da resolução de excessivos problemas matemáticos, pois sua validade se encontra no entendimento da fenomenologia.

## REFERÊNCIAS

- [1] MOREIRA M.A. AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D.; HANESIAN, H. *Psicologia Educacional*. 2.ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- [2] AUSUBEL, D. P. *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. Lisboa: Paralelo, 2003.
- [3] AUSUBEL, D. P. *Educational psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- [4] AUSUBEL, D. P.; ROBINSON, F. G. *School learning: An introduction to educational psychology*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1969.
- [5] BAFFI, M. A. T. *O planejamento em educação: revisando conceitos para mudar concepções e práticas*. In.: BELLO, José Luiz de Paiva. *Pedagogia em Foco*. Petrópolis, 2002. Disponível em: [www.miniweb.com.br/educadores/artigos/pdf/fundamentos\\_educacao.pdf](http://www.miniweb.com.br/educadores/artigos/pdf/fundamentos_educacao.pdf). Acesso em: 06 fev 2019.
- [6] BRASIL. *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+)*. Ciências da Natureza e Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2006.
- [7] DANTAS, Maurício; PEREZ, Silvana. *Gamificação e Jogos no Ensino de Mecânica Newtoniana: Uma Proposta Didática Utilizando os Aplicativos Bunny Shooter e Socrative*. Revista do Professor de Física, v. 2, n. 2, 2018.
- [8] FONSECA, Monaliza et al. *O laboratório virtual: Uma atividade baseada em experimentos para o ensino de mecânica*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 4, p. 1-10, 2013.
- [9] GUERRA, Andreia; BRAGA, Marco; REIS, José Cláudio. *Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 4, p. 575-583, 2007.
- [10] GOBARA, Shirley Takeco et al. *Estratégias para utilizar o programa Prometeus na alteração das concepções em mecânica*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 24, n. 2, p. 134-145, 2002.
- [11] HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *A Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna*. 8<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- [12] I. NEWTON *The Principia*. Prometheus Books, New York, 1995.
- [13] J. NEEDHAM, W. LING E D.J.S. PRICE, *Heavenly Clockwork: the Great Astronomical Clocks of Medieval China*. Cambridge University Press, Cambridge, 1960.
- [14] LUCKESI, CIPRIANO C. *Avaliação da Aprendizagem Escolar*. 17<sup>a</sup> ed. São Paulo, SP: Cortez, 2005.

- [15] MARTINS, A.F.P. *Tempo Físico: a construção de um conceito*. 1<sup>a</sup>. Ed. Natal: UFRJ, 2007. 270p.
- [16] MEGID NETO, J.; FRACALANZA, H. *O livro didático de ciências: problemas e soluções*. *Ciência & Educação*, v.9, no.2, p. 147-157, 2003.
- [17] MEGID NETO, J.; PACHECO, D. *Pesquisas sobre o ensino de física no nível médio no Brasil: concepção e tratamento de problemas em teses e dissertações*. In: NARDI, R. (Org.). *Pesquisas em ensino de física*. 2. ed. rev. São Paulo: Escrituras, 2001.
- [18] MOREIRA, DANIEL AUGUSTO. *O método fenomenológico na pesquisa*. São Paulo: Pioneira Thomson, 2002.
- [19] MOREIRA, Marcos Luiz Batista. *Experimentos de Baixo Custo no Ensino de Mecânica Para o Ensino Médio*. 2015.
- [20] MOREIRA, M. A. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999.
- [21] \_\_\_\_\_. (2011a). *Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas-UEPS*. *Aprendizagem Significativa em Revista*. Porto Alegre, v.1, n.2, p.43-63.
- [22] \_\_\_\_\_. (2011b). *Aprendizagem significativa: um conceito subjacente*. *Aprendizagem significativa em Revista*, v.1, n.3, p.25-46.
- [23] \_\_\_\_\_. (2011c). *Meaningful learning: from the classical to the critical view*. *Aprendizagem Significativa em Revista*, v1, p. 1-15.
- [24] \_\_\_\_\_. (2011d). *Abandono da narrativa, ensino centrado no aluno e aprender a aprender criticamente*. *Aprendizagem Significativa em Revista*, v1, p. 84-95.
- [25] \_\_\_\_\_. *Mapas conceituais e aprendizagem significativa*. 2012. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/mapasport.pdf>. Acesso em: 14 Out. 2018.
- [26] \_\_\_\_\_. *Aprendizagem significativa em mapas conceituais*. *Textos de Apoio ao Professor de Física*, v.24, n.6, 2013. Disponível em: [www.if.ufrgs.br/public/tapf/v24\\_n6\\_moreira\\_.pdf](http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v24_n6_moreira_.pdf). Acesso em: 14 Out. 2018.
- [27] NOVAK, J. D. *A Theory of Education*. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- [28] P. DAVIES. *About Time: Einstein's Unfinished Revolution*. Simon&Schuster, London, 1995.
- [29] PERRENOUD, PHILIPPE. *Gestion de l'imprévu, analyse de l'action et construction de compétences*. *Education Permanente*, n° 140, 3, p. 123-144.
- [30] PIETROCOLA, M. *Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Editora da UFSC (org.). 2001.
- [31] POSTMAN, NEIL.; WEINGARTNER, CHARLES. *Teaching as a Subversive Activity*. New York: Delacorte Press, 1969.
- [32] VIGOTSKI, L.S. *Pensamento e linguagem*. São Paulo: Martins Fontes, 2005.

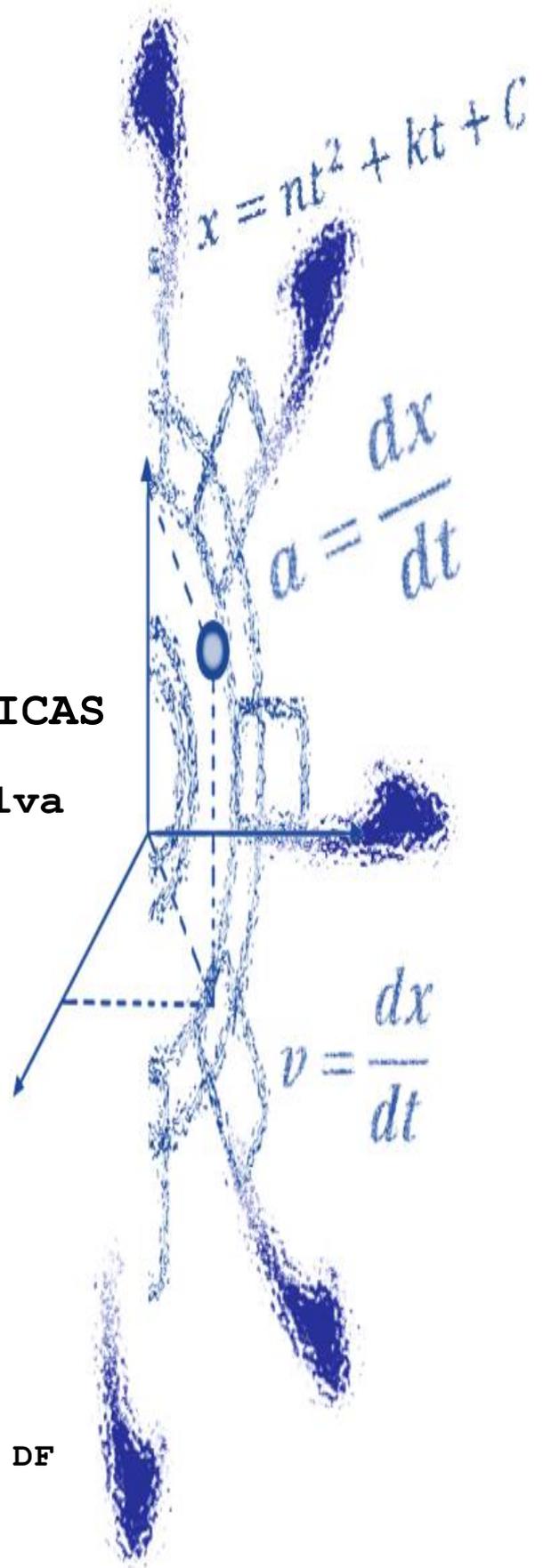
- [33] RESQUETTI, S. O. *Como se movem os projéteis nos livros didáticos de física e no vestibular? Inquirindo o Galileu sintético de hoje*. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e o Ensino da Matemática) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.
- [34] RESQUETTI, S. O.; DANHONI NEVES, M. C. *Uma proposta de mecânica para o nível médio: estratégias para o ensino-aprendizagem em sala de aula*. Programa de Desenvolvimento Educacional-PDE-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.
- [35] SANTANA, ADEMIR E. *Espaço, Tempo e Estruturas das Teorias do Movimento*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 41, n. 1, p. e20180145, 2019.
- [36] SANTANA, ADEMIR E.; SIMON, SAMUEL. *Constitutive Elements of Non-Abelian Gauge Theories*. Journal of Modern Physics, v. 6, n. 01, p. 58, 2015.
- [37] \_\_\_\_\_. *Causation, Symmetry and Time Irreversibility*. The Insides of Nature: Causality and Conceptions of Nature, Vol. 4, 2019, 49-66.
- [38] \_\_\_\_\_. *Laszlo Tisza, 110 years: Origins of the Modern Thermal Physics*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 41, n. 3, 2019.
- [39] SANTOS, Robson José; SASAKI, Daniel GG. *Uma metodologia de aprendizagem ativa para o ensino de mecânica em educação de jovens e adultos*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 37, n. 3, 2015.
- [40] SANTOS, Rafael Pinheiro; BALTHAZAR, Wagner Franklin; HUGUENIN, Jose Augusto Oliveira. *Sequência Didática Para o Ensino de Cinemática com Vídeo Análise na Perspectiva da Teoria de Aprendizagem Significativa*. Revista do Professor de Física, v. 1, n. 2, p. 54-67, 2017
- [41] SOUZA, P.H.D.; ZANETIC, J.; SANTOS, M.E.V.M.D. *O conceito de espaço no ensino de física: construindo categoria de análise a luz da epistemologia de Bachelard*. VIII ENPEC – Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Campinas, 2011.
- [42] Whitrow. G.J. *O Tempo na História*. Jorge Zahar, Rio de Janeiro, 1988.

**APÊNDICE A**

**PRODUTO EDUCACIONAL**

# ESPAÇO-TEMPO EM MECÂNICAS

Lucas Rodrigues Silva



Brasília, DF  
2020



# **ESPAÇO-TEMPO EM MECÂNICAS**

**Lucas Rodrigues Silva  
(Autor)**

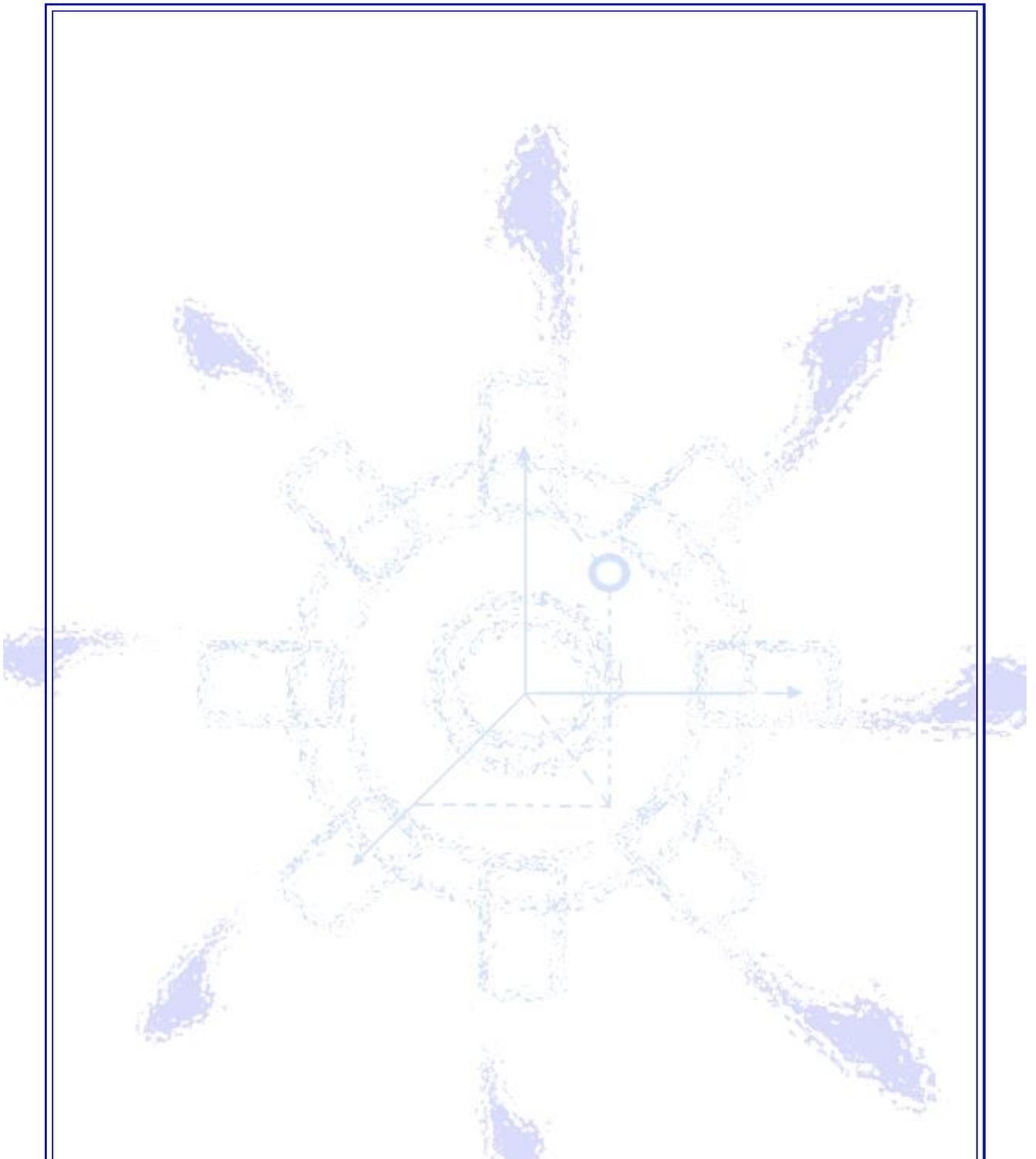
**Ronni Geraldo Gomes de Amorim  
(Orientador)**

**Ademir Eugênio de Santana  
(Coorientador)**

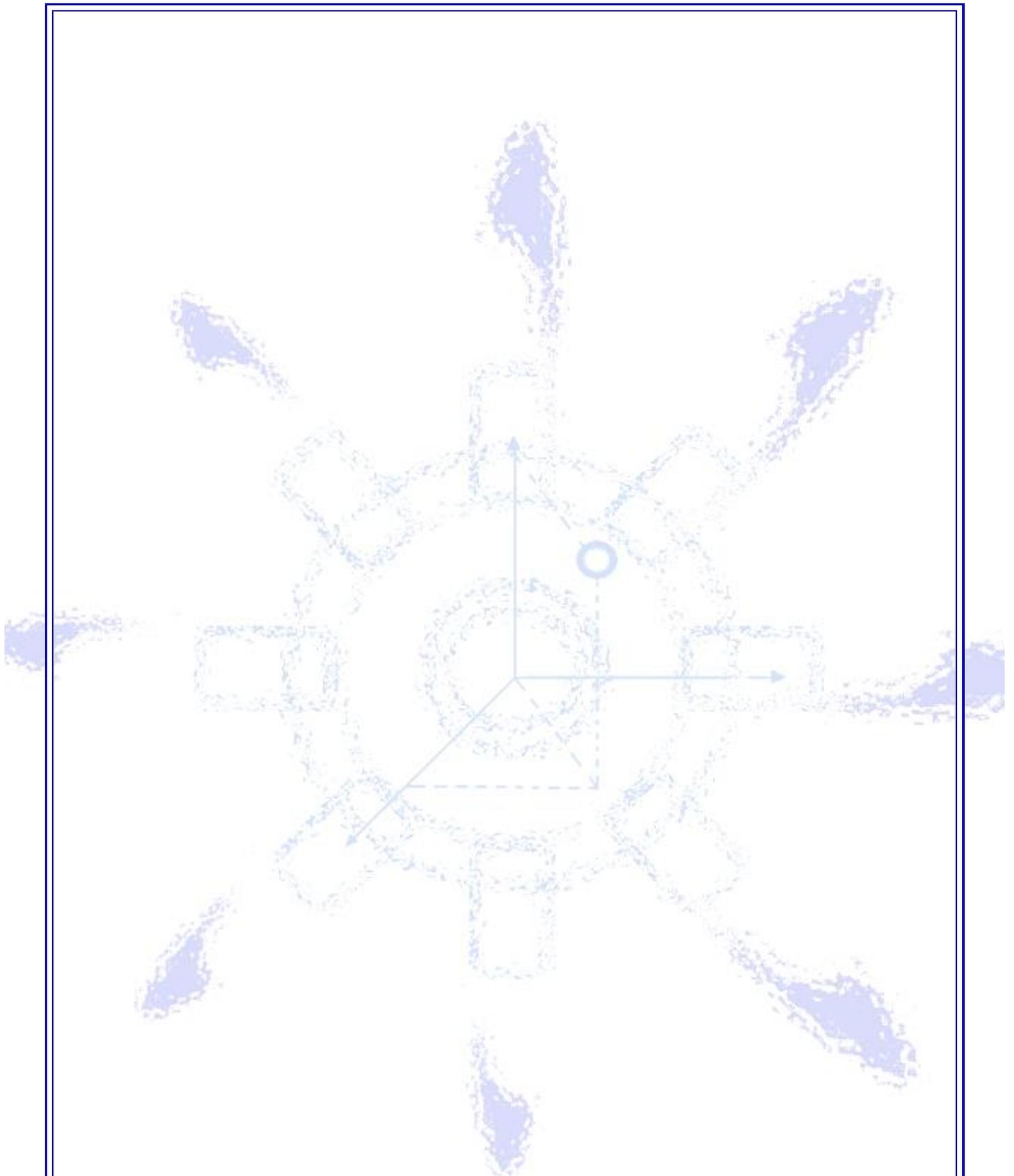
**Ilustrações:**

**Lucas Rodrigues Silva  
(Capa)**

**Matheus Magalhães Braga  
(Figuras)**



*À minha esposa, aos meus avós, aos meus pais,  
às minhas irmãs, aos meus sobrinhos, aos meus  
amigos e aos meus alunos.*



*“A entropia há de vencer. Mas, continuarei lutando!”  
(Santana, A. E.)*

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	6
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>ESTRUTURAÇÃO DAS TEORIAS DO MOVIMENTO</b> .....	10
<b>MUNDO HEURÍSTICO</b> .....	10
<b>ESPAÇO HEURÍSTICO</b> .....	11
<b>TEMPO AO LONGO DO TEMPO</b> .....	12
<b>TEMPO HEURÍSTICO</b> .....	13
<b>MOVIMENTO HEURÍSTICO</b> .....	14
<b>SIMETRIAS DO MOVIMENTO</b> .....	15
<b>INSTRUMENTOS AVALIATIVOS</b> .....	19
<b>PESQUISA QUALITATIVA</b> .....	19
<b>PRODUÇÃO TEXTUAL</b> .....	20
<b>MAPAS CONCEITUAIS</b> .....	21
<b>ORGANIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA</b> .....	22
<b>ORGANIZAÇÃO DO ENCONTRO</b> .....	22
<b>LISTA DE MATEIRIAIS</b> .....	22
<b>PRIMEIRO ENCONTRO</b> .....	24
<b>SEGUNDO ENCONTRO</b> .....	25
<b>TERCEIRO ENCONTRO</b> .....	28
<b>QUARTO ENCONTRO</b> .....	30
<b>QUESTIONÁRIO</b> .....	32
<b>FOLHA DE ANOTAÇÕES:</b> .....	34
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	35

## APRESENTAÇÃO

Caríssimo(a) professor(a),

Ao buscar por uma diferenciação dos materiais didáticos usualmente utilizados na educação básica, nos quais o conhecimento é apresentado de maneira mecânica e com pouco significado, procurou-se elaborar este produto educacional seguindo os pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), preconizada por David Ausubel. Desse modo, ao conceber este material didático, objetivou-se que o estudante se sinta protagonista no processo ensino-aprendizagem, e, mais que isso, perceba a ciência como algo inacabado, cuja construção é realizada de forma compartilhada por todos aqueles que sintam-se preparados e inspirados a ajudar ao próximo e às futuras gerações, ao mesmo tempo que qualifica o ensino de física. Para tanto, esta sequência didática está baseada no modelo de uma UEPS (Unidade de Ensino Potencialmente Significativa), sugerido por Moreira (2011), conduzindo o estudante na construção dos conceitos de tempo e espaço de forma contextualizada, disponibilizando atividades lúdicas, nas quais o estudante se torna autor da construção do conhecimento, assimilando melhor os conceitos a ele apresentados.

Sendo assim, as motivações para a construção deste material são diversas. Dentre elas, cabe destacar a escassez de material didático adequado, em que trate corretamente os conceitos iniciais de mecânica, tanto em nível médio quanto superior; o distanciamento recorrente com que tratam a mecânica newtoniana e a relativística, dentre outros, que convidam a você professor(a), fazer uso deste material.

Nesse contexto, este produto se trata de uma sequência didática pensada para alunos da 1ª série do ensino médio, mas que pode ser muito bem utilizada com alunos do ensino fundamental (9º ano). Para aplicá-la serão utilizados quatro encontros/aulas. Vale ressaltar que esta pode ser adaptada à sua realidade; quer seja por plano anual disciplinar, carga horária, calendário escolar e etc.

Assim, é pensando um pouco mais na maneira com que exercemos diariamente nossa profissão, que alcançaremos os nossos alunos, sendo, portanto, eles o motivo maior de nossa busca por uma excelência profissional, e em meio aos diversos entraves, a sala de aula ainda continua sendo um espaço destinado ao encontro de indivíduos com o conhecimento. Então, a todos àqueles que se entram cotidianamente em suas salas e se permitem ser desafiados a trazer propostas de ensino que sejam interessantes e cada vez

mais atrativas, meus parabéns e boa sorte! Parafraçando Eleanor Roosevelt<sup>1</sup>, “*O futuro pertence àqueles que acreditam na beleza de seus sonhos*”. Portanto, ao ensinarem física aos seus alunos, os façam sonhar! E, mais do que isso, a acreditarem junto com eles, pois no final não haverá dúvidas de que um lindo futuro foi escrito.

---

<sup>1</sup> Anna Eleanor Roosevelt (Nova Iorque, 11 de outubro de 1884 — Nova Iorque, 7 de novembro de 1962) foi primeira-dama dos Estados Unidos de 1933 a 1945. Apoiou a política do New Deal, criada por seu marido e primo de quinto grau, o presidente Franklin Delano Roosevelt, e tornou-se grande defensora dos direitos humanos. Após a morte do marido, em 1945, Roosevelt continuou a ser uma defensora, porta-voz, ativista internacional para a coalizão do *New Deal*. Trabalhou para melhorar a situação das mulheres trabalhadoras, embora tenha sido contra a política dos direitos iguais, pois acreditava que ela afetaria negativamente as mulheres. ([https://pt.wikipedia.org/wiki/Eleanor\\_Roosevelt](https://pt.wikipedia.org/wiki/Eleanor_Roosevelt), acesso em: 01 out. 2019).

## INTRODUÇÃO

Ao longo da história da humanidade, a busca pelo entendimento acerca do movimento das coisas permitiu uma melhor compreensão do mundo que nos cerca. Através desta mesma inquietação, não só obtiveram domínio sobre o fogo, como também amplificaram suas concepções sobre o universo, possibilitando sua ida à lua que lhes permitiu consolidar a sociedade moderna com toda a sua tecnologia. Logo, para se alcançar tais feitos, foi indispensável o desenvolvimento da Física em toda sua extensão.

Usualmente, o primeiro contato formal que o estudante da educação básica tem com a Física ocorre no nono ano do ensino fundamental, no qual a disciplina de Ciências da Natureza é repartida em Física e Química. No que concerne à Física, geralmente inicia-se com a apresentação de algumas grandezas relacionadas ao estudo do movimento. Dentre essas grandezas, destaca-se a apresentação dos conceitos de tempo e espaço.

Em vista disso, muitos são aqueles que se preocupam com o ensino de física, sobretudo com os conceitos de mecânica. Gobara (2003) traz uma perspectiva de mudança de concepção dos conceitos mecânicos através do uso de programas computacionais. Guerra, Braga e Reis (2007) propõem uma possível abordagem para o ensino de mecânica relativística. Fonseca (2013) sugere o uso de um laboratório virtual, para se trabalhar alguns conceitos mecânicos de maneira experimental. Moreira (2015) faz uso de experimentos de baixo custo, para se alcançar os alunos ao se ensinar mecânica. Santos e Sasaki (2015) utilizam de uma metodologia ativa, para se ensinar mecânica para jovens e adultos. Santos, Balthazar, Huguenin (2017) sugerem uma sequência didática com vídeo análise sobre cinemática para o ensino médio. Dantas e Perez (2018) trazem através da gamificação, uma perspectiva lúdica para se ensinar mecânica. Em vista disso, a preocupação com que se deve ter ao ensinar mecânica torna-se pertinente. Porém, isto claramente não se apresenta como uma tarefa trivial.

Em meio a esse processo, muitas são as tentativas de falar ou definir espaço e tempo. Ao chegar ao ensino médio, o movimento passa a ser estudado em dois momentos totalmente distintos. Assim, ao longo do primeiro ano, o estudo ocorre numa perspectiva clássica, na qual trata de fenômenos de baixas velocidades. Ao término do terceiro ano, há um enfoque relativístico estudando o regime de altas velocidades. Entretanto, ambos os regimes (altas e baixas velocidades), são apresentados de maneira bastante confusa aos alunos. Dessa forma, os conceitos físicos passam a ser vistos pela grande maioria dos

alunos como algo excessivamente abstrato e difícil, onde o que é visto em sala de aula não tem a menor necessidade para a vida cotidiana.

Os alunos aguardam ansiosamente o momento em que todo aquele conteúdo teórico, apresentado como simplificações tiradas diretamente do cotidiano, ganhe realismo e lhes capacite a melhor entender o ambiente em que vivem. Porém, em geral, este momento nunca chega. (PIETROCOLA, 2001, p.19).

Uma discussão aprofundada sobre a evolução histórica desses conceitos, bem como as diferentes maneiras que eles foram medidos com o passar do tempo é raramente apresentada, principalmente na educação básica. Essa negligência se deve em parte pela escassez de materiais didáticos voltados ao público da educação básica. Assim, ao tratar dos conceitos básicos da mecânica, utilizamos o trabalho de Santana (2019), “Espaço, Tempo e Estruturas das Teorias do Movimento”, bem como o de Santana e Simon (2015), “Constitutive Elements of Non-Abelian Gauge Theories”; Santana e Simon (2019), “Causation, Symmetry and Time Irreversibility”; e também, Santana e Simon (2019), “Laszlo Tisza, 110 years: Origins of the Modern Thermal Physics”.

A apresentação deste produto é baseada nos seguintes pontos: trazemos, primeiramente, o tratamento um de caminho possível para se construir os conceitos da mecânica de maneira consistente. Em seguida, apresentamos a organização da sequência tratando da metodologia da sequência didática e também, os instrumentos avaliativos adotados para analisá-la. Ao final, o questionário utilizado como pré e pós-teste e um modelo de folha (papel A4), para a coleta dos dados durante a aplicação deste produto.

## ESTRUTURAÇÃO DAS TEORIAS DO MOVIMENTO

Este capítulo apresenta uma construção dos conceitos envolvidos em uma mecânica. Para isto, utilizamos como embasamento, o artigo escrito por Santana (2019), Espaço, Tempo e Estruturas das Teorias do Movimento. Assim como, o de Santana e Simon (2015), Constitutive Elements of Non-Abelian Gauge Theories, Santana e Simon (2019), Causation, Symmetry and Time Irreversibility. E também Santana e Simon (2019), Laszlo Tisza, 110 years: Origins of the Modern Thermal Physics.

### MUNDO HEURÍSTICO

Para se construir uma teoria do movimento, tem se de ser feito a escolha de um ponto de partida. Ao olhar para o mundo, um observador estabelece uma primeira constatação: “O mundo existe”. A partir deste primeiro entendimento, o observador passa ter a noção do existir do mundo, como um conceito primitivo. Então, ele observa que o mundo é composto por coisas (pessoas, bichos, plantas, estrelas, galáxias, etc.), sendo o existir das coisas, um outro conceito primitivo. Para a física, as coisas definem o mundo, e isso se chama realismo da física. Segundo Santana (2019), a *práxis* da física em qualquer escala, se constrói sobre o experimento, utilizando como ponto de partida as relações entre os objetos físicos.

Então, ao buscar construir uma teoria do movimento, o observador através da sua cognição, enxerga relações entre as coisas do mundo, que para a física são escolhidas como conceitos primitivos, ou ontológicos. As relações estabelecem a conformação, ou a disposição, das coisas entre si. Por exemplo, um observador diz, ao caminhar por uma rua: “...este carro azul está aqui e aquela bicicleta vermelha está ali...”. Ou ainda, pode dizer: “Esta caneta é muito menor que minha mesa!”, pois ao comparar, pode verificar que cabem 12 canetas ao longo da mesa, mas saberá também que não caberá 80 canetas. Isto significa que há relações (o conceito primitivo) entre a carteira e a caneta. Portanto, o observador passa a entender que, a conformação de relação que se estabelece, entre a caneta e a carteira não muda, neste caso. Estas relações são denominadas de estáticas. Além dessas, as conformações podem ser de natureza não-estáticas. Esta segunda possibilidade pode ser exemplificada da seguinte forma. Considere um observador sentado na janela de sua casa, de frente para uma avenida e concentra-se em um carro virando a esquina e diz: “Aquele

carro está passando!”. Em seguida, verifica que a relação da sua cama para com um poste situado na esquina em que o carro entrou, é de natureza estática, mas não com relação ao carro passando. Desta forma, ele observa que a conformação da sua cama para com o carro está mudando, mas em relação ao poste situado na esquina, a conformação continua a mesma. Então, o observador passa a denominar a mudança de conformação, de movimento.

Contudo, antes de estudar estas mudanças de conformação, verifica-se a necessidade de inserir alguns conceitos. Como o conceito de espaço, a partir das relações estáticas e o conceito de tempo, através das relações não-estáticas. Por consequência, dados os conceitos de espaço e tempo pode-se introduzir o conceito de velocidade, como uma das características do movimento, em seguida pode-se tratar o conceito de aceleração ou suas derivadas e assim por diante.

### **ESPAÇO HEURÍSTICO**

Ao tomar como ponto de partida o conceito de relações e a natureza estática das coisas (conformações), um observador situado em uma sala, enxerga relações entre as coisas que estão na sala, quer sejam umas para com as outras, ou ainda para com a própria sala. Sendo assim, ele pode vir a dizer: “Aquela estante, é muito maior que este livro!” ou “Aquela cadeira é muito menor que esta parede!”. Desta forma, o observador pode fazer experimentações, como verificar quantas cadeiras podem ser postas ao longo da parede. Por exemplo, ao contar, verifica que cabem 10,3 cadeiras. Ao obter o número, em que o significado se trata do valor de uma grandeza, aleatoriamente o observador pode nomeá-la de comprimento. Desse modo, o número 10,3 representando o comprimento, fica por muitas vezes, sem sentido para o observador dizer “10,3 comprimentos”, então perguntariam a ele: “Do quê?” e caso ele respondesse: “De parede!”, logo devolveriam “De qual parede você está falando?”. Portanto, cria-se uma unidade de medida que ele arbitrariamente chama de cadeiras.

De maneira análoga a esta, com o conceito primitivo de noção de profundidade (noção sensorial), um observador pode perceber se os objetos estão atrás ou à frente, bem como abaixo ou acima uns dos outros. Ele obtém através das relações, os conceitos de largura e altura. Com estes três conceitos, comprimento, largura e altura, permitem ao observador caso queira preencher toda a sala com várias coisas, e depois localizá-las caso fosse necessário. Então, através dos conjuntos das relações entre as coisas situadas na sala

observada, as quais se localiza umas com relações as outras, permitem ao observador criar um novo conceito, o qual ele chama de espaço, ou espaço-euclidiano tratado em todo o  $R^3$ . Em que dada a grandeza espaço, atribui-se uma unidade de medida que pode ser nomeada de metro. E sobre a unidade de medida a escala é construída.

## **TEMPO AO LONGO DO TEMPO**

Desde as primeiras civilizações até os dias atuais, os seres humanos pautaram suas atividades segundo noção que tinham de tempo. Ao voltar seus olhos para o céu, os povos primitivos viram o Sol nascer e se pôr, dando-lhes o entendimento do dia e da noite. Assim, conforme as civilizações se desenvolviam, o controle e posse sobre o tempo era utilizado para a legitimação de autoridades e ao acúmulo de bens. Desse modo, ao se apropriar e usar tempo, os representantes do povo definiam períodos de plantio, treinamento militar, rituais religiosos e etc.

Atualmente, umas das muitas competências dos físicos é buscar uma maneira clara de se abordar o tempo. Segundo Santana (2019), para se tratar do tempo em teorias físicas é preciso que se leve em conta dois aspectos de grande importância: o primeiro acerca dos elementos que constituem a noção de tempo, como processos empíricos; e o segundo aspecto pautado em atributos de natureza qualitativa-teórica quanto elementos geométricos.

Em vasta literatura, estão escritos grandes nomes que se destacaram ao tratar do tempo. Então, torna-se clara, a grande relevância histórico-cultural em lembrar as contribuições desses cientistas para o entendimento que temos sobre o tempo na atualidade.

Na Grécia antiga, Aristóteles, ao afirmar, “Tempo é movimento...” evidencia um entendimento acerca da natureza das coisas, ao destacar o fato de que estas se atualizam de maneira gradual (*metabole*) ao amplificarem suas potencialidades, nomeando todo o processo da mudança em si, de *kinesis*. Em resumo, para o grego, o movimento está relacionado ao processo de mudança, portanto, ao próprio tempo. “[...] não apenas medimos o movimento pelo tempo, mas também o tempo pelo movimento, porque eles se definem um ao outro. (Aristoteles Apud Whitrow, 1993, p. 57)”.

Anos mais tarde, Santo Agostinho (1996), ao escrever Confissões, faz uma primeira mensuração acerca do tempo, ao escrever “...medimos os tempos que passam, de modo que podemos afirmar: este espaço de tempo é duplo de tal outro, ou é-lhe equivalente,

ou este é o igual àquele...”. Por conseguinte, medimos os tempos ao decorrerem. E se alguém me disser: ‘Como sabeis?’, responder-lhe-ei: ‘Sei-o porque o medimos’. Não medimos o que não existe.”, esclarece que a medida do tempo, é estabelecida por meio de comparação de processos.

Por conseguinte, anos mais tarde ao utilizar *clepsidras*<sup>2</sup>, Galilei através da comparação e da prática experimental dos estudos dos movimentos, faz uma inserção do tempo, ao afirmar:

No que diz respeito à medida do tempo, empregávamos um grande recipiente cheio de água, suspenso no alto, o qual, por um pequeno orifício feito no fundo, deixava cair um fino fio de água, que era recolhido num pequeno copo durante todo o tempo em que a bola descia pela canaletta ou por suas partes. As quantidades de água assim recolhidas eram a cada vez pesadas com uma balança muito precisa, sendo as diferenças e proporções entre os pesos correspondentes às diferenças e proporções entre os tempos; e isto com tal precisão que, como afirmei, estas operações, muitas vezes repetidas, nunca diferiam de maneira significativa. (Galilei, 1988, p. 176).

Evidenciando que o tempo seria uma quantidade mensurável.

E por fim, Newton (1995), ao tratar do tempo com algo “...absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e por sua própria natureza flui igualmente sem relação com nada de externo, e com outro nome, é chamado de duração...”, ao escrever os *Principia*, propõe a primeira síntese mecânica para uma inquietação surgida ainda na idade média, período a partir do qual o tempo passou a utilizar o relógio como instrumento de medida. Então, desde Newton, a ciência tem feito uso desta maneira de mensuração.

## **TEMPO HEURÍSTICO**

Adota-se, como ponto de partida, o conceito de relações e a natureza não-estática das coisas, para a seguinte situação: um observador situado em uma sala munido de um pêndulo. Ao soltar o pêndulo, ele observa que a conformação da sala para com o pêndulo muda, mas depois ao voltar, a conformação é retomada. Assim, ao verificar que o ato de ir e vir se repete, o observador nomeia de *ciclo*. Desse modo, ao utilizar um pêndulo, o observador estabelece o padrão, que lhe permite comparar por exemplo, como se dá a mudança de conformação.

Então, suponhamos que um observador com um pêndulo em sua mão e sentado em sua sala com janela de frente para rua diz: “Quantos ciclos aquele carro leva para chegar

---

<sup>2</sup> A clepsidra ou relógio de água foi um dos primeiros sistemas criados pelo homem para medir o tempo. Trata-se de um dispositivo movido a água, que funciona com o auxílio da força da gravidade, no mesmo princípio da ampulheta (de areia). (<https://pt.wikipedia.org/wiki/Clepsidra>, acesso em: 01 out. 2019).

ao fim da rua?” E ao contar, encontra 8,5 ciclos. Em seguida, uma moto passa, e ao repetir o processo, obtêm 3 ciclos, permitindo ao observador dizer: “a moto passou mais rapidamente que o carro!”. Assim, ao contar os ciclos, aparecem números (8,5 e 3), que representam os valores de uma grandeza, arbitrariamente chamada pelo observador de tempo, ou simplesmente  $t$ , especificado na reta real  $R$ .

Com a grandeza tempo, o observador é capaz de dizer o quão rápido a conformação de relação entre as coisas muda. Desse modo, ao retomar os valores da grandeza tempo, na situação descrita acima (8,5 e 3), para lembrar que estes valores representam esta grandeza, cria-se então uma unidade de medida, e novamente de forma arbitrária pode ser nomeada, segundo.

### MOVIMENTO HEURÍSTICO

Ao tratar das mudanças de conformação, admitindo-as mais rápidas ou menos rápidas, umas com relações as outras, implicitamente está incluída a noção de espaço, na qual a distância possui valor fixo.

Ao retomar o exemplo da moto que se move mais rapidamente que o carro através ciclos, sabe-se que, por meio das relações pode-se obter também o valor do comprimento da rua a qual é visualizada pelo observador. Desse modo, dadas as informações das medidas que informam o deslocamento dos móveis (carro e moto), e do tempo decorrido, é possível relacioná-los. Dessa relação, surge um novo elemento derivado das noções de espaço e tempo. Assim, é possível que observador sempre verifique o quão rápido outros objetos (veículos, pessoas, bichos etc.) percorram a mesma rua. Então, esta grandeza pode ser chamada de velocidade, representando o quanto se percorre no espaço ao longo de um tempo. Por consequência, o quanto mais rápido um objeto se move, então maior será sua velocidade. Representada por,

$$V = \frac{dx}{dt}.$$

Sendo a velocidade, uma relação entre o espaço e o tempo, torna-se claro que a unidade de medida que representa esta grandeza será uma unidade obtida através das utilizadas para representar o espaço e o tempo. Podendo ser,

$$\frac{cm}{s}, \frac{mm}{h}, \frac{m}{dia}$$

Se o observador desejar comparar o quão rápido se dá o movimento ao longo de um tempo, pode ser inserido a partir desta nova relação uma outra grandeza. Esta, por sua vez, pode ser nomeada de aceleração. Descrita por,

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}.$$

## SIMETRIAS DO MOVIMENTO

Dados os conceitos de espaço e tempo, é possível introduzir a noção de sistema de referência inercial. Um sistema de referência é um *locus* no espaço onde o observador estuda o movimento de um sistema. Tal sistema é chamado de inercial, quando um sistema físico estudado mantiver seu estado de movimento, desde que não haja interação com outros sistemas. Por exemplo, se em um laboratório colocamos sobre uma mesa uma esfera parada, velocidade nula, ou mesmo constante, e se a mesma permanecer neste estado de movimento, então o sistema será chamado de sistema de referência inercial. Este é o conteúdo da primeira lei de Newton, chamada de lei da inércia descrita nos *principia*, “*Lex I: Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare*”.

Voltando ao caso da bolinha sobre a mesa, se nas mesmas condições (sem interação, e velocidade nula) ela sofrer alteração de seu estado de movimento, portanto, acelerar-se, dizemos que o sistema de referência é não-inercial.

Segundo Santana (2019), o estado de movimento de um sistema mecânico é caracterizado por elementos que tipificam o movimento desse sistema e informam o seu posicionamento espacial. Esse conceito nasce de processos experimentais, permitindo classificar os sistemas mecânicos (campos ou pontos materiais), em classes específicas de estados mecânicos nos quais a especificação dos sistemas ocorre através de uma função escalar. Assim, ao tomar a equação de Euler-Lagrange,

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} = \frac{\partial L}{\partial q_i}; i = 1, \dots, N.$$

verifica-se que o estado mecânico, chamado Lagrangiana, permanece invariante ao mudar de um sistema inercial para outro.

Entretanto, ao sugerir que o movimento poderia ser “relativo”, Galilei observou como se relaciona um sistema de coordenadas em repouso com outro que se move com velocidade uniforme em relação ao anterior. Para tanto, estabelece que as leis físicas devem

permanecer válidas para qualquer sistema de referência inercial. Em outras palavras, as leis físicas permanecem invariantes para todos os sistemas de referência inercial.

Dessa forma, a relação entre um sistema de referência, S, e outro S', se estabelece experimentalmente. Considere um observador descrevendo um objeto físico no sistema S, localizado num ponto  $p = (x, y, t)$ .

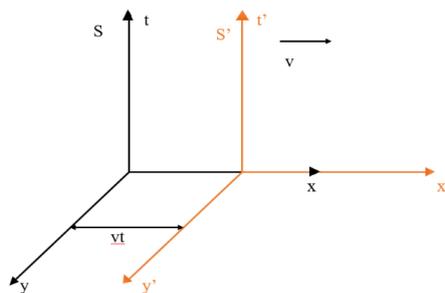
Para um outro observador no sistema S', o evento estará localizado em um ponto  $p' = (x', y', t')$ . A relação entre um ponto e outro fica dada por

$$x' = x + vt,$$

$$y' = y,$$

$$t' = t,$$

onde  $v$  é a velocidade relativa de S' com relação a S. Descrevendo o mesmo evento físico.



*Figura 1.: Transformação de Galilei.*

Assim, Galilei propõe a primeira ideia de relatividade, na qual o tempo é o mesmo em qualquer referencial inercial.

Entretanto, ao tratar de velocidades muito altas, como a velocidade da luz, encontramos como problema a sincronicidade dos relógios. Esta é a ideia versada por Einstein, ao propor a teoria da relatividade restrita. Em que, o movimento relativo entre os observadores, é expressado pela transformação de Lorentz. Assim, ao considerar um observador descrevendo um objeto físico no sistema S, localizado num ponto  $q = (x, y, t)$ , observa-se que, no sistema S', o evento estará localizado em um ponto  $q' = (x', y', t')$ . Dessa maneira, a relação entre um ponto e outro fica dada por

$$x' = \gamma(x + vt),$$

$$y' = y,$$

$$t' = \gamma\left(t + \frac{v}{c^2}x\right),$$

com  $\gamma \equiv \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$  (fator de Lorentz).

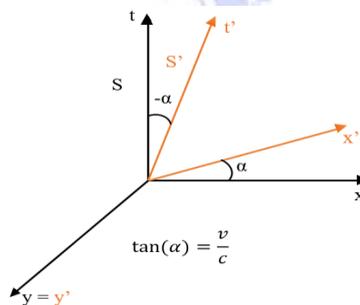


Figura 2.: Transformação de Lorentz.

Desse modo, para o regime de baixas velocidades, esses eventos são descritos pelas transformações de Galilei, enquanto que no regime de altas velocidades os eventos são descritos pelas transformações de Lorentz. Vale ressaltar que a ideia de espaço e tempo são as mesmas para os regimes de baixas e altas velocidades, tendo como único elemento diferenciador o sincronismo dos relógios.

Santana (2019) acrescenta que a velocidade luz,  $c$ , se trata de um limite de velocidade imposto experimentalmente. Segundo Halliday, Resnick e Walker, (2009, p. 148), a velocidade limite foi demonstrada em 1964 no experimento de W. Bertozzi<sup>3</sup>, onde, ao acelerar elétrons para que atingissem várias velocidades diferentes, obteve-se além da velocidade, a energia cinética desses elétrons. Desta forma, através do experimento, conclui-se que por maior que seja a energia fornecida a um elétron (ou qualquer outra partícula com massa), a velocidade da partícula jamais se iguala ou supera a velocidade limite,  $c$ . Em outras palavras, quando uma força é aplicada em uma partícula massiva em altas velocidades, a energia cinética aumenta, mas a velocidade praticamente não varia.

Logo, a ideia que se tem sobre energia precisa ser reformulada. Assim, a energia cinética passa a ser descrita, por

$$E = m_0 \gamma c^2.$$

A velocidade limite foi definida exatamente como  $c=299.792.458$  m/s. Em suma, pode-se dizer que ao admitir uma velocidade qualquer  $v$  menor que  $c$ , esta não pode ser

<sup>3</sup> W. Bertozzi, é professor de física no MIT e fundador e desenvolvedor do Bates Linear Accelerator Center, onde atuou como chefe de operações de pesquisa. atualmente dirige o Grupo de Interações Nucleares do LNS no MIT e é membro da American Physical Society e da American Association for the Advancement of Science. Ele possui B.S. e PhD (Física) pelo MIT, e é o inventor da tecnologia NRFI. ([http://web.mit.edu/physics/people/faculty/bertozzi\\_william.html](http://web.mit.edu/physics/people/faculty/bertozzi_william.html), acesso em: 01 out. 2019).

acelerada até equiparar-se ou exceder a velocidade da luz. Por conseguinte, esse entre outros experimentos (como por exemplo, a caixa de Einstein proposto em 1906, na qual também aponta a velocidade da luz,  $c$ , como um limite de velocidades) indicam um gasto infinito de energia para fazer com que objetos massivos se movam na velocidade da luz. Para visualizar isso, basta tomar um corpo que se move com velocidade  $v$ , cuja energia está expressa por

$$E = m_0 \gamma c^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Entende-se que, quanto mais  $v$  se aproxima de  $c$ , no limite, a energia que deve ser fornecida ao corpo tende ao infinito.

## **INSTRUMENTOS AVALIATIVOS**

Entre as inúmeras atribuições de um professor, está o processo ou ato de avaliar seus alunos. Tal processo exige uma preocupação clara com a maneira de se avaliar o indivíduo ou indivíduos que estão sendo avaliados. Deste modo, é imprescindível que, assim como o professor, os processos sejam sempre reinventados para melhor atender aos alunos, cujo processo irá implicar diretamente na caminhada dentro da instituição escolar.

Assim, ao tratar como um processo a prática de avaliação, é necessário que não haja adoção ou valorização de um único mecanismo para tal, possibilitando uma amplificação acerca das oportunidades, em que se favoreça o aluno apresentar o que aprendeu. Muito embora tratado como a linha de chegada de cada conteúdo, o processo avaliativo nunca pode ser um ponto final na aquisição do conhecimento, mas um elemento que o acompanha durante o processo.

Portanto, torna-se claro reconhecer que os diferentes processos e os meios para que os alunos possam ser avaliados implicam em uma garantia de uma aprendizagem que seja mais sólida e coesa, promovendo uma participação integral no ambiente de sala de aula.

[...] A prática da avaliação nas pedagogias preocupadas com a transformação deverá estar atenta aos modos de superação do autoritarismo e ao estabelecimento da autonomia do educando, pois o novo modelo social exige a participação democrática de todos, (LUCKESI, 2005, p.32).

Dessa forma, foi utilizado o modelo de pesquisa qualitativa como elemento facilitador da coleta dos dados. Esta ação contou com uma valorização dos escritos dos alunos (produção textual) sendo representada na aplicação de um pré-teste e registros dos alunos das atividades e ainda a confecção de mapas conceituais.

## **PESQUISA QUALITATIVA**

Escolher por uma pesquisa qualitativa, há uma pretensão de que ao diversificar a maneira como se apresenta os conteúdos, desperte nos alunos um desejo de querer aprender os conceitos físicos abordados. Vale ressaltar que não há um interesse quanto aos números, mas sim por elementos que evidenciem a apreensão dos conceitos por parte dos alunos.

[...] a pesquisa qualitativa abdica total ou quase totalmente das abordagens matemáticas no tratamento dos dados, trabalhando preferencialmente com as palavras oral e escrita, com sons, imagens, símbolos, etc, (MOREIRA, 2002, p. 44).

Segundo Moreira (2002), uma pesquisa qualitativa deve estar edificada sobre alguns parâmetros que devem ser considerados ao se utilizar este formato de pesquisa. Portanto, primeiramente deve se levar em conta a interpretação do foco na qual o aplicador deve buscar um entendimento sobre o tema abordado através da ótica dos participantes. Logo, é de grande importância destacar a subjetividade com que se apresenta cada participante, sempre flexibilizando o processo ao longo da aplicação, na qual há uma exigência da parte aplicador, que deve estar sempre atento para uma possível rigidez das situações do estudo. Assim, o foco da pesquisa deve estar voltado para o processo, e nunca para o resultado, pois é a experiência que deve ser levada em conta, dando margem para o próprio aplicador reconhecer que também fora influenciado pela pesquisa.

## **PRODUÇÃO TEXTUAL**

No ambiente da sala de aula, a comunicação entre o professor e o aluno acontece de diferentes maneiras. Em meio aos diversos meios de comunicação existentes, a produção textual pode ser destacada nas aulas de física, por mais que seu uso seja ligado com maior frequência as disciplinas de português, redação ou literatura.

A utilização da escrita em uma disciplina como a física está para além das normas gramaticais ou ortográficas, está voltada para enxergar como o ato de escrever permite que os alunos expressem e argumentem sobre o que pensam acerca de um determinado assunto discutido em sala de aula.

Desta maneira, pedir que os alunos escrevam, possibilita uma dinâmica entre a linguagem e pensamento desenvolvido sobre tal assunto, permitindo que eles expressem como se dá a organização e a construção de seus conhecimentos. Para Vygotsky (2005), ao fazer uso da linguagem, quer seja ela escrita ou em outra formatação, não se prende apenas ao fato do indivíduo poder expressar aquilo que pensa, mas sim em uma estruturação mais abrangente, na qual atua na maneira de construir e organizar o pensamento.

Para que isto tenha êxito, o processo da produção textual deve ser bem estruturado. Assim, solicite que os alunos se expressem de forma escrita, através do uso de questionários

contendo perguntas abertas e também fazendo registro de determinadas situações ao longo da aplicação da sequência.

## MAPAS CONCEITUAIS

Para Moreira (2012), mapas conceituais têm o claro propósito de esclarecer as relações significativas e a hierarquia existente entre conceitos, por isto, devem ser vistos como diagramas de significados. Para construir um mapa conceitual, não são exigidas regras formais; nele são utilizadas formas geométricas, que abrigam conceitos e que o tamanho dessas figuras permite a hierarquização dos conceitos, que só terão significado se forem previamente esclarecidos, fazendo com que o mapa tenha sentido.

A elaboração de um mapa conceitual, evidencia a maneira individualizada de organizar os conhecimentos, de quem o construiu. A utilização de linhas com setas pode facilitar o processo de entender o que pretende ser mostrado. Desta maneira, permite que haja um contraste entre o que foi aprendido mecanicamente com uma aprendizagem significativa.

A utilização de mapas conceituais permite que seja feita uma sondagem acerca do que foi aprendido durante as aulas. Apresentando também, através dos conceitos e conexões utilizadas para a construção do mapa, evidências de aprendizagem significativa, sendo cada mapa único e não podendo ser classificado em certo ou errado.

Para avaliar os mapas conceituais desenvolvidos pelos alunos, utilize os critérios tratados por Moreira (2013, p. 35):

- *De acordo com a matéria de ensino, as linhas conectando conceitos e as palavras de enlace (os conectores) devem sugerir relações adequadas.*
- *Presença dos conceitos mais importantes do tema abordado.*
- *Existência, não apenas de relações verticais, mas de relações cruzadas, indicando reconciliação integrativa.*
- *Hierarquização conceitual expressa de forma clara (conceitos mais importantes em destaque).*

## **ORGANIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA**

Esta sequência se baseia no modelo de uma UEPS, aplicada ao ensino de Mecânica. Ao longo de toda aplicação, deve haver a valorização dos conhecimentos prévios dos alunos, na qual, o professor/aplicador deve buscar evidências de uma aprendizagem significativa. A duração prevista para esta sequência é de 4 encontros/aulas de 50 minutos. Desse modo, apresentamos a seguir uma organização prévia de cada um dos encontros. Em seguida, apresentaremos a lista de material a ser utilizada durante o desenvolvimento desta prática.

## **ORGANIZAÇÃO DO ENCONTRO**

- 1º encontro: Apresentação da proposta aos estudantes, levantamento dos conhecimentos prévios (aplicação do pré-teste) e debate sobre: “*O Mundo e suas coisas*”.
- 2º Encontro: Aula-experimental sobre Espaço.
- 3º encontro: Aula-experimental sobre Tempo e Velocidade.
- 4º encontro: Orientação e confecção dos Mapas Conceituais.

## **LISTA DE MATEIRIAIS**

- 1 Rolo de Barbantes;
- Bolinhas de gude; (Qtde. dependerá do número de alunos)
- Folha de papel A4 em branco (modelo disponível no final);
- Arruelas (Dimensão: 1”, Diâmetro Interno (mm): 27, Diâmetro Externo (mm): 55 e Espessura (mm): 3

E para melhor guiá-lo, a tabela a seguir apresenta uma perspectiva clara do que deverá ocorrer em cada encontro.

Tabela 1.: Organização de aplicação da sequência.

Organização da UEPS				
Encontros	Atividades	Objetivos	Tempo	Avaliação
1º	Atividade 1	Investigar os conhecimentos prévios. (pré-teste)	20 min	Questionário (Apêndice A)
	Atividade 2	Utilizar de um organizador prévio para ancoragem do aprendizado.	30 min	Debate aberto sobre “O que é mundo heurístico” e produção textual
2º	Atividade 3	Apresentar situações problema; Inserir o conceito de relações.	25 min	Produção textual
	Atividade 4	Apresentar novas situações problema em níveis mais complexos levando em conta o princípio da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora; Inserir a noção de espaço.	25 min	Produção textual
3º	Atividade 5	Apresentar situações problema em níveis cada vez mais complexos; Inserir a noção de tempo.	25 min	Produção textual
	Atividade 6	Apresentar situações problema em níveis cada vez mais complexos levando em conta o princípio da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora; Inserir a noção de velocidade.	25 min	Produção textual
4º	Atividade 7	Explicar o que é um mapa conceitual; Construir um mapa conceitual.	30 min	Construção do Mapa conceitual
	Atividade 8	Verificar a compreensão dos conceitos	20 min	Questionário (Apêndice A)

## **PRIMEIRO ENCONTRO**

No primeiro encontro o professor/aplicador fará a apresentação da proposta para os alunos, na sala de aula. Para isto, deve ser utilizado um *datashow* para a apresentação de *slides* e, sempre que possível, dando espaços para esclarecimentos sobre cada encontro e suas respectivas atividades. Assim, este primeiro momento está dividido em 2 atividades.

### ***Atividade 1***

Solicite aos estudantes que respondam a um questionário sobre perguntas abertas tratando de conceitos relacionados à mecânica (APÊNDICE A) como situação inicial. Para este momento, utilize 20 minutos da aula. Dessa maneira, esta primeira atividade terá como objetivo fazer uma investigação acerca dos conceitos prévios dos estudantes sobre os conceitos de mecânica. Ausubel (2003), destaca que os conhecimentos prévios que os estudantes levam para a sala de aula são explicações práticas para os objetos e fenômenos, sendo na maioria das vezes pouco elaborados, precisando serem identificados e levados em consideração pelo professor.

### ***Atividade 2***

Após aplicar o pré-teste, faça uma discussão sobre o tema: “*O mundo heurístico*”, utilizando o tempo final da aula, através de um debate aberto e utilizando o *datashow*. Para melhor desenvolver o debate, leia o tópico *O mundo heurístico* deste produto. Ao término da discussão, solicite aos alunos que se agrupem e então forneça folhas em branco (folha-modelo) para que possam registrar coisas de uso cotidiano em que eles possam fazer alguma comparação. Para esta atividade utilize 20 minutos.

## SEGUNDO ENCONTRO

O segundo encontro é destacado pela inserção do conceito de espaço, em princípio através de uma aula cotidiana, mas com o diferencial de que ao longo do desenvolvimento do conceito os alunos podem participar ativamente através de atividades experimentais. Este encontro contém 2 atividades.

### *Atividade 3*

Primeiramente apresente o conceito primitivo de relações, mostrando que ao comparar um dado objeto com outro irá emergir um número. Sendo esse número, o valor de uma grandeza, que pode ser arbitrariamente nomeada de pincel, por exemplo. Sendo assim, ao comparar o pincel ao longo da mesa sala, obteve por exemplo 10 pincéis. Então, esclareça que ao efetuar aquela medida através do instrumento pincel, verificou que a mesa mede 10 pincéis. E que as medidas podem ser realizadas por diferentes objetos. Para isto, mais uma vez solicite que os alunos formem grupos. Assim, retire o rolo de barbantes e corte diferentes tamanhos. Em seguida, forneça um barbante para cada grupo.



*Figura 3.: Entregando os barbantes.*

Novamente entregue novas folhas em branco e peça que os alunos nomeiem seus barbantes com nomes à escolha deles e depois registrem na folha. Assim, com os barbantes nomeados, peça aos grupos para que com auxílio do barbante relacione os objetos que estão dentro da sala. Ao fim desta atividade, peça para registrarem o que foi possível relacionar na folha anteriormente fornecida. Para esta atividade, utilize 25 minutos.



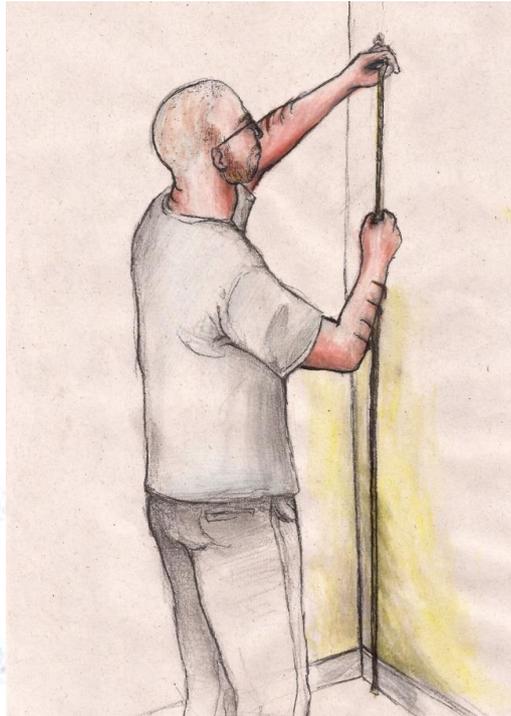
*Figura 4.: Utilizando o barbante para comparar com uma caneta.*



*Figura 5.: Utilizando o barbante para comparar com uma mochila.*

#### ***Atividade 4***

Dando continuidade, a aula-experimental através dos conceitos primitivos de “relações” e “noção de profundidade”, proponha novas situações problema, agora em um grau maior de complexidade, levando em conta o princípio da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora. Assim, solicite aos alunos que permaneçam agrupados. Então, peça para que eles escolham algum dos objetos/coisas que foram relacionados através do uso do barbante, e em seguida, o utilizem como instrumento de medida para as dimensões da sala de aula. Assim, os estudantes irão obter as medidas do comprimento, largura e altura da sala em questão. Conclua o encontro inserindo o conceito de espaço. Para tanto, forneça folhas (papel A4) em branco para que possam registrar o que mediram e o que foi comparado entre os grupos. Para esta atividade, utilize 25 minutos.



*Figura 6.: Verificando quantos barbantes cabem entre o piso e o teto.*

## TERCEIRO ENCONTRO

No terceiro encontro há a inserção do conceito de tempo, de forma semelhante à adotada no 2º encontro. Em seguida há apresentação do conceito de velocidade. Neste encontro ocorrerão 2 atividades.

### *Atividade 5*

Esta atividade é iniciada com uma recapitulação histórica acerca do tempo (use o texto tempo ao longo do tempo). Em seguida, pegue o rolo de barbantes e recorte com o mesmo tamanho, um barbante para cada grupo. Com este pedaço de barbante, amarre uma das pontas junto a uma das arruelas para que possa ser construído um pêndulo para cada um dos grupos participantes. Então, através do uso de um pêndulo e de relações, será inserido o conceito de tempo. Em seguida, peça aos alunos que se agrupem, e para cada grupo entregue um pêndulo e algumas “bolinhas de gude”. Assim, conduza-os para o corredor da escola, ou permaneça na sala caso não haja a possibilidade de movimentá-los. Então, peça para que um dos membros de cada grupo, lance uma de suas bolinhas, enquanto um outro membro conta os ciclos gastos até a bolinha percorrer todo o local. Então, indique que a marcação realizada através dos pêndulos como instrumento de medida serviu para medir o tempo que as bolinhas levavam para percorrer o corredor da escola ou sala. Em seguida, entregue novas folhas (papel A4) em branco para que façam registro das marcações. Para ficar mais interessante, peça para que cada grupo faça três ou mais lançamentos, e depois, peça-lhes que tirem a média das medidas. Para esta atividade, serão utilizados 25 minutos.



*Figura 7.: Abandonando o pêndulo.*



*Figura 8.: Contando os ciclos através do pêndulo.*

### ***Atividade 6***

Nesta atividade, novamente você irá utilizar o conceito primitivo de relações, o mesmo utilizado para inserir os conceitos de espaço e tempo. Então, estando estes conceitos bem estabelecidos, você pode inserir novos conceitos, como por exemplo, a noção de velocidade. Para tanto, solicite aos grupos que utilizem seus barbantes e pêndulos como instrumentos de medida para obter o comprimento do corredor e o tempo gasto para percorrê-lo. Então conclua apresentando o conceito de velocidade como resultado do ato de comparar as medidas de espaço e tempo. Assim, peça que os grupos verifiquem entre eles qual das equipes foi mais veloz ou quem foi menos veloz. Nesse momento, os questione “por que que o grupo “x” foi o mais/menos veloz?”. Ao término, peça-lhes para registrar os dados da atividade, em novas folhas fornecidas as equipes.

## QUARTO ENCONTRO

No quarto e último encontro, haverá a construção dos mapas conceituais e também a aplicação do pós-teste, a fim de verificar o que entenderam ao longo dos encontros. Através de duas atividades.

### Atividade 7

Inicialmente, explique aos seus alunos sobre o que é e como se faz para construir um mapa conceitual. Em seguida, mostre às turmas alguns modelos de mapas conceituais já construídos, como os das figuras a seguir.

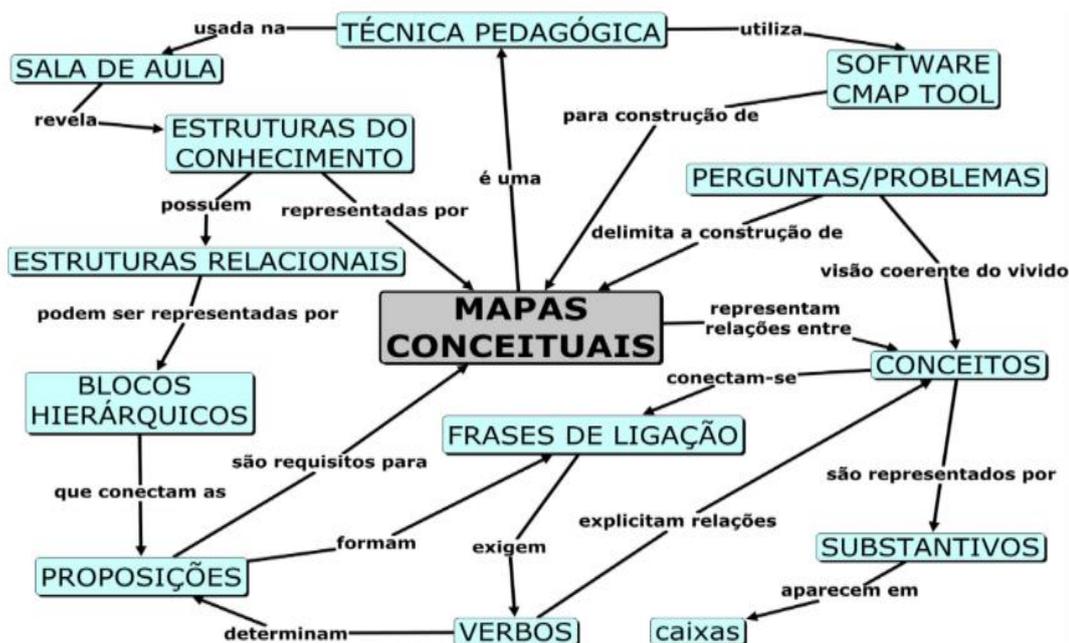


Figura 9.: Exemplo de mapa conceitual nº 1. Fonte: <http://cursoonlineinformaticaprofessores.pbworks.com/f/1316283952/mapa2.jpg>

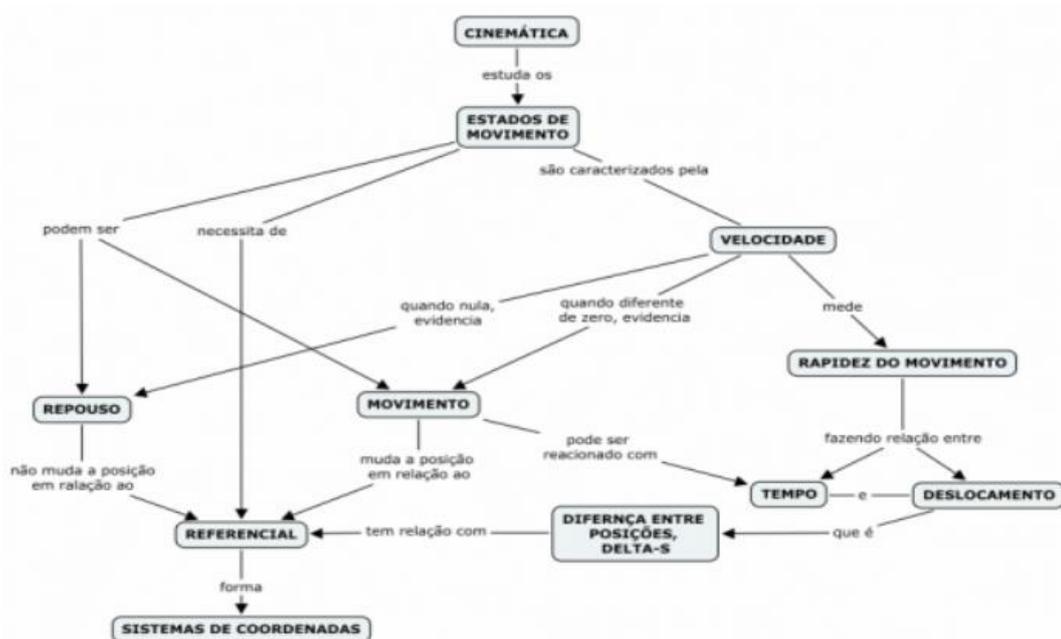


Figura 10.: Exemplo de mapa conceitual nº 2. Fonte: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Mapa-conceitual-de-Cinemática\\_fig2\\_316555135](https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Mapa-conceitual-de-Cinemática_fig2_316555135)

Após esta apresentação, entregue uma ou mais folhas em branco para cada grupo. Nesta atividade, você pode solicitar que se construa os mapas de forma individual, sendo um para cada membro do grupo ou um mapa conceitual por grupo. Então, peça-lhes para elaborem mapas conceituais sobre o que foi aprendido ao longo dos encontros. Para a atividade conceda aos alunos 30 minutos.

### Atividade 8

Chegando à última atividade deste quarto encontro, peça aos estudantes que respondam novamente o questionário (Apêndice A) adotado na atividade 1. Assim, através das respostas deste questionário será possível comparar com o que foi respondido no início dos encontros, tendo como objetivo verificar a evolução das respostas dos alunos.

## QUESTIONÁRIO



### Questionário de pesquisa sobre compreensão de conceitos da área de mecânica

Este questionário visa analisar a compreensão que estudantes do 1º ano do ensino médio possuem sobre conceitos da área de mecânica. Faz parte do trabalho que estamos desenvolvendo junto ao Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF).

Ressaltamos que os sujeitos participantes da pesquisa não serão identificados na redação final do texto e suas informações serão mantidas em sigilo, mencionadas somente as respostas na tabulação dos dados para a dissertação, e, posteriormente, na publicação de trabalhos científicos. Informamos que, ao responder este questionário, você está autorizando a publicação das respostas, resguardado seu direito ao anonimato. Os dados de identificação serão usados apenas para nosso controle e, caso necessário, para esclarecimento sobre alguma resposta dada.

**Sua colaboração é muito importante para o desenvolvimento deste trabalho. Obrigado por participar.**

**Identificação:**

**Escola:** \_\_\_\_\_

**Estudante:** \_\_\_\_\_

**E-mail:** \_\_\_\_\_

1. O que é tempo?

---

---

---

---

---

---



2. O que é espaço?

---

---

---

---

---

---

3. O que é movimento?

---

---

---

---

---

---

4. Quais as características das grandezas associadas ao movimento?

---

---

---

---

---

---

5. Quais tipos de movimentos você conhece?

---

---

---

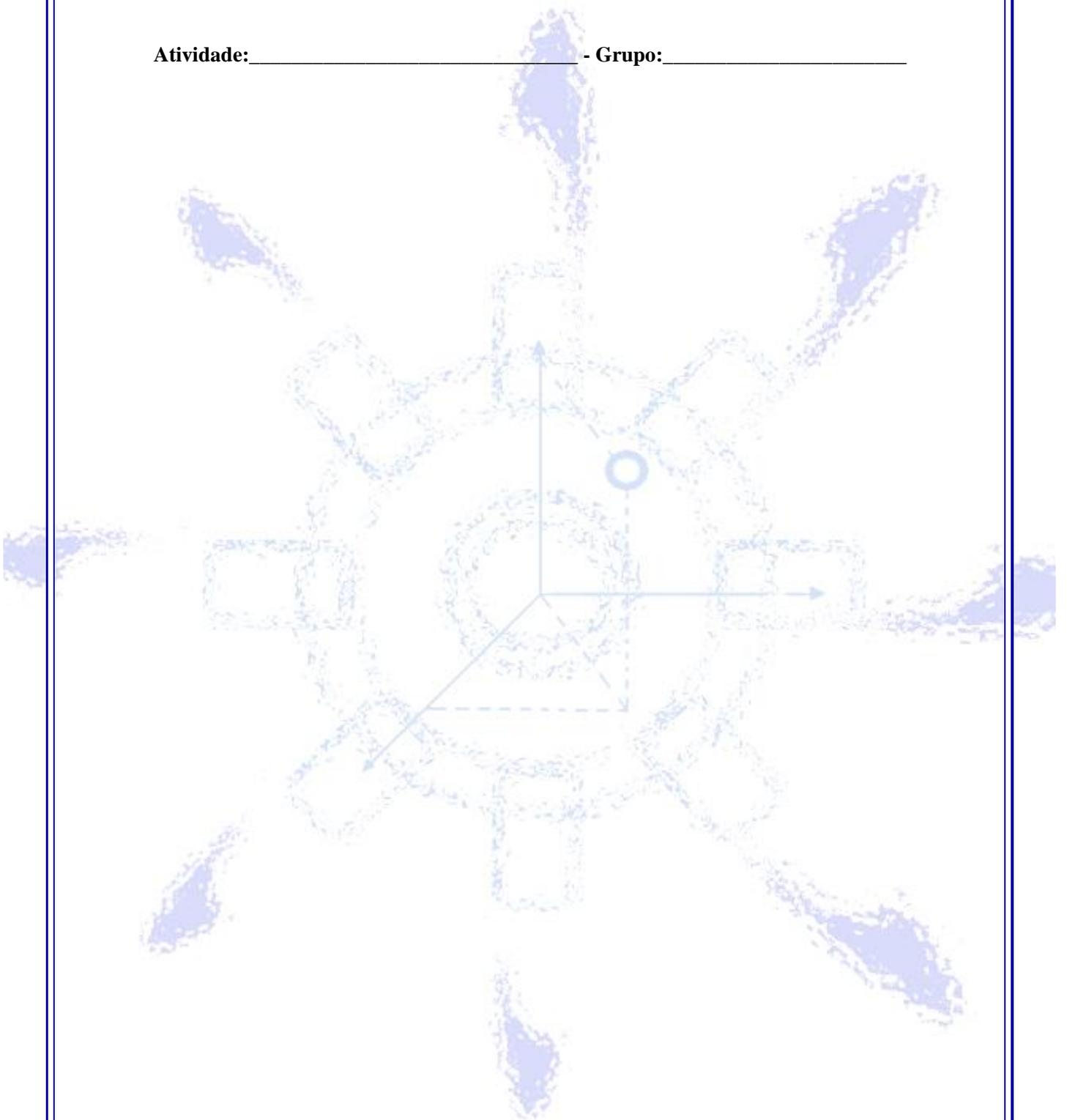
---

---

---

## FOLHA DE ANOTAÇÕES:

Atividade: \_\_\_\_\_ - Grupo: \_\_\_\_\_



## REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D.; HANESIAN, H. Psicologia Educacional. 2.ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

AUSUBEL, D. P. Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva. Lisboa: Paralelo, 2003.

AUSUBEL, D. P. Educational psychology: a cognitive view. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

AUSUBEL, D. P.; ROBINSON, F. G. School learning: An introduction to educational psychology. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1969.

BAFFI, M. A. T. O planejamento em educação: revisando conceitos para mudar concepções e práticas. In.: BELLO, José Luiz de Paiva. Pedagogia em Foco, Petrópolis, 2002. Disponível em: <[http://www.miniweb.com.br/educadores/artigos/pdf/fundamentos\\_educacao.pdf](http://www.miniweb.com.br/educadores/artigos/pdf/fundamentos_educacao.pdf)> Acesso em: 06 fev 2019.

BRASIL, Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+). Ciências da Natureza e Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2006.

G.J. Whitrow, O Tempo na História (Jorge Zahar, Rio de Janeiro, 1988).

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009

I. Newton, The Principia (Prometheus Books, New York, 1995).

J. Needham, W. Ling e D.J.S. Price, Heavenly Clockwork: the Great Astronomical Clocks of Medieval China (Cambridge University Press, Cambridge, 1960).

LUCKESI, Cipriano C. Avaliação da Aprendizagem Escolar. 17ª ed. São Paulo, SP: Cortez, 2005.

MEGID NETO, J.; FRACALANZA, H. O livro didático de ciências: problemas e soluções. Ciência & Educação, v.9, no.2, p. 147-157, 2003.

MEGID NETO, J.; PACHECO, D. Pesquisas sobre o ensino de física no nível médio no Brasil: concepção e tratamento de problemas em teses e dissertações. In: NARDI, R. (Org.). Pesquisas em ensino de física. 2. ed. rev. São Paulo: Escrituras, 2001.

MOREIRA, Daniel Augusto. O método fenomenológico na pesquisa. São Paulo: Pioneira Thomson, 2002.

- MOREIRA, Marco Antônio. Teorias de Aprendizagem. São Paulo: EPU, 1999.
- \_\_\_\_\_. (2011a). Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas-UEPS. Aprendizagem Significativa em Revista. Porto Alegre, v.1, n.2, p.43-63.
- \_\_\_\_\_. (2011b). Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. Aprendizagem significativa em Revista, v.1, n.3, p.25-46.
- \_\_\_\_\_. (2011c). Meaningful learning: from the classical to the critical view. Aprendizagem Significativa em Revista, v1, p. 1-15.
- \_\_\_\_\_. (2011d). Abandono da narrativa, ensino centrado no aluno e aprender a aprender criticamente. Aprendizagem Significativa em Revista, v1, p. 84-95.
- \_\_\_\_\_. Mapas conceituais e aprendizagem significativa, 2012. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/mapasport.pdf>>. Acesso em: 14 Out. 2018.
- \_\_\_\_\_. Aprendizagem significativa em mapas conceituais. Textos de Apoio ao Professor de Física, v.24, n.6, 2013. Disponível em <[www.if.ufrgs.br/public/tapf/v24\\_n6\\_moreira\\_.pdf](http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v24_n6_moreira_.pdf)>. Acesso em: 14 Out. 2018.
- NOVAK, J. D. (1977). A Theory of Education. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- P. Davies, About Time: Einstein's Unfinished Revolution (Simon&Schuster, London, 1995).
- PERRENOUD, Philippe. Gestion de l'imprévu, analyse de l'action et construction de compétences. Education Permanente, n° 140, 3, p. 123-144.
- PIETROCOLA, M. Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Editora da UFSC (org.). 2001.
- POSTMAN, Neil.; WEINGARTNER, Charles. Teaching as a Subversive Activity. New York: Delacorte Press, 1969.
- SOLÉ, I. Disponibilidade para a aprendizagem e sentido da aprendizagem. In: COLL, E. C. (Org). O construtivismo na sala de aula. São Paulo: Ática, 2006.
- VIGOTSKI, L.S. Pensamento e linguagem. São Paulo: Martins Fontes, 2005.
- RESQUETTI, S. O. Como se movem os projéteis nos livros didáticos de física e no vestibular? Inquirindo o Galileu sintético de hoje. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e o Ensino da Matemática) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.
- RESQUETTI, S. O.; DANHONI NEVES, M. C. Uma proposta de mecânica para o nível médio: estratégias para o ensino-aprendizagem em sala de aula. Programa de Desenvolvimento Educacional – PDE – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

**APÊNDICE B****ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DAS  
TEORIAS DO MOVIMENTO**

Ao tratar de uma teoria mecânica, por definição estamos falando em teorias do movimento. Desse modo, as noções dos conceitos associados espaço, tempo e movimento são obtidas através do experimento. Assim, apresentaremos primeiramente os elementos  $(e_1, e_2, \dots, e_n)$  edificadores de uma mecânica. Em seguida, observaremos como estes objetos são aplicados sob a ótica clássica. Para isso, utilizamos como guia o caminho traçado por Santana (2019), em seu trabalho *Espaço, Tempo e Estruturas das Teorias do Movimento*, em que desenvolve pedagogicamente e apresenta o procedimento experimental ao abordar um programa mecânico.

Segundo Santana (2019), uma mecânica é constituída por cinco elementos básicos. Desse modo, temos:

$e_1$  - Como primeiro elemento, tomamos como conceito primitivo o existir do espaço e do tempo, em que ambos são descritos por uma variedade  $V = (x, t)$ . Dessa forma,  $\mathbf{x}$  representa os vetores em todo o  $R^3$ , enquanto que  $\mathbf{t}$  o tempo. Assim os processos físicos passam a especificar cada uma das quantidades  $x$  e  $t$ . Logo, é a mensuração através dos processos que definem o espaço e o tempo. Então, tomamos um locus no espaço e tempo, denominado sistema de referência inercial  $S$ , onde as propriedades dos sistemas físicos são mensuradas. Dados os sistemas de referência, estes passam a ser definidos pela conexão que fazem um para com outro. Desse modo, ao associar um sistema  $S$  com  $S'$ , temos um mapeamento  $G : S \rightarrow S'$ , em que  $G$  representa as transformações específicas garantidas pelo experimento. Ao generalizar, podemos tomar como exemplo,  $G$ , tratando-se de um grupo de simetria  $h$ , em que os fenômenos físicos ocorridos em  $S$  são descritos da mesma maneira que em  $S'$ . Podemos ainda, admitir um semigrupo para tratar de processos irreversíveis, mas que se esclareça que a natureza de  $G$  é definida experimentalmente.

$e_2$  - No segundo elemento, admitimos como conceito primitivo o existir de um conjunto em que seus elementos são variáveis mecânicas denotado por  $D = (a, b, c, \dots)$ . Sendo estas, as responsáveis por descrever a localização, velocidade, momentum, energia, dentre outras. Desse modo, podemos nomear de observáveis canônicas um conjunto composto por tais variáveis, que a partir destas, podemos obter todas as outras, tendo minimamente a estrutura de espaço linear, como também, serão os observáveis do sistema.

$e_3$  - Assim, neste terceiro elemento, tomamos um outro conceito primitivo, a existência de um sistema físico, o qual se caracteriza pela noção estado mecânico ( $E$ ). Para tanto, um estado mecânico se configura por um conjunto de elementos que fornecem além, da localização de um sistema no espaço e no tempo, a informação das características do movimento desse sistema. Logo, o estado mecânico apresentará sistemas mecânicos descritos por pontos inerciais ou ainda materiais, e também, sistemas caracterizados por campos. Nesse contexto, ao tomar um observável  $O$ , admite-se existir uma regra a ser regida pelo experimento de modo que  $E(O) \in R^n$ , referindo-se ao processo de mensuração. Dessa maneira, ambas as situações

são considerados também como conceitos primitivos.

$e_4$  - Neste quarto elemento, apontamos que os sistemas mecânicos específicos são determinados por uma função do estado mecânico, chamada Lagrangiana, apresentada a seguir.

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} = \frac{\partial L}{\partial q_i}; i = 1, \dots, N.$$

Em que ao tomarmos novamente  $G$ , esta função assegura que todos os observadores estarão descrevendo o mesmo sistema físico. Desse modo, se caracteriza como um escalar, ao admitirmos transformações envolvendo a mudança dos sistemas de referências.

$e_5$  - Então, no quinto e último elemento, assumimos que existe uma lei casual que rege e conecta os vários estados do sistema. Dessa maneira, deve ser invariante a  $G$ , podendo ser encontrada por um princípio de extremo (conduzindo as equações de Euler-Lagrange) compatível com  $e_1$ .

Assim, Santana (2019) traça os caminhos que se deve percorrer para se tratar de uma mecânica. A partir destes elementos, podemos construir qualquer outra mecânica. Vejamos nos tópicos seguintes como estes elementos são tratados na perspectiva de Newton.

### **Mecânica Clássica Não-Relativística**

Para apresentar os elementos constitutivos de uma mecânica clássica, Santana (2019) aplica os cinco elementos citados acima para pontos inerciais de massa  $m$ . Então,

$e_1$  - No primeiro elemento, a variedade  $V$ , descrita agora como  $V = R^3 \times R^1$ , em que o  $R^3$  se trata do espaço euclidiano enquanto o  $R^1$  representa o tempo. Dessa forma, os sistemas inercias  $S$  e  $S'$  são relacionados por  $G$  através da transformação de Galilei, dito Galileanos, em que o tempo passa da mesma maneira para os dois sistemas.

$e_2$  - No segundo elemento, as variáveis mecânicas vetor posição ( $q \equiv x(t)$ ), vetor velocidade ( $v = \frac{d}{dt} \times x(t)$ ) e momentum linear ( $p(t) = m \frac{d}{dt} \times x(t)$ ) são descritas por funções reais.

$e_3$  - O terceiro elemento, apresenta um ponto material de massa  $m$  descrevendo o sistema físico. Dessa maneira, temos  $x(t)$  se referindo a localização no espaço e no tempo, também o momentum  $p(t)$  como uma característica do movimento. Assim, podemos escrever uma função  $F = F(x, p; t)$ , sendo a variável mecânica.

$e_4$  - No quarto elemento, a função Lagrangiana é descrita da mesma maneira com que apresenta o  $e_4$  do tópico anterior.

$e_5$  - Para o quinto elemento, temos a lei casual estabelecida levando em conta o que fora tratado em  $e_1$ . Em outras palavras, as transformações de Galilei em consonância com o princípio de extremo, nos conduz às leis que geram a dinâmica.

Assim, Santana (2019) nos apresenta de maneira clara como está firmada a mecânica em sua interpretação clássica. De maneira semelhante, em seu trabalho também é apresentada a

visão relativística, em que reaplica os cinco elementos, fazendo algumas diferenciações, sendo uma delas o tratamento dos sistemas de referência devido o movimento se encontrar em um regime de altas velocidades (como a velocidade da luz  $c$ ), os sistemas passam a ser relacionados pela transformação de Lorentz, uma vez que o tempo passa de maneira distinta de um sistema para o outro. Entretanto, as noções de tempo e espaço permanecem as mesmas.