



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA EM FÍSICA**

ANDERSON HERMES CABRAL DA ROCHA

**PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE FÍSICA:
UM ESTUDO SOBRE O TEMPO**

**CAMPINA GRANDE – PB
Novembro de 2019**

ANDERSON HERMES CABRAL DA ROCHA

**PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE FÍSICA:
UM ESTUDO SOBRE O TEMPO**

Trabalho de conclusão de curso (artigo) apresentado à Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial para conclusão do curso de Licenciatura em Física.

Orientadora: Professora M.^a Ruth Brito F. Melo

Área de concentração: Ensino de Física

CAMPINA GRANDE – PB

Novembro de 2019

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

R672p Rocha, Anderson Hermes Cabral da.

Proposta didática para o Ensino de Física [manuscrito] : um estudo sobre o tempo / Anderson Hermes Cabral da Rocha. - 2019.

28 p.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2019.

"Orientação : Profa. Ma. Ruth Brito F. Melo , Coordenação do Curso de Física - CCT."

1. Ensino de Física. 2. Entropia. 3. Relatividade. 4.

Proposta didática. I. Título

21. ed. CDD 530.7

ANDERSON HERMES CABRAL DA ROCHA

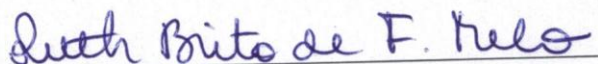
**PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE FÍSICA:
Um estudo sobre o tempo**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado ao Programa de graduação em Licenciatura em Física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de graduado em Licenciatura em Física.

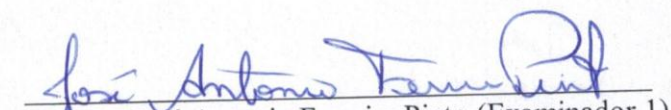
Área de concentração: Ensino de Física.

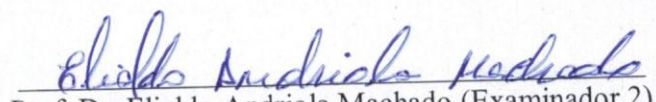
Aprovada em: 22/11/2019.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Ms. Ruth Brito F. Melo (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Ms. José Antonio Ferreira Pinto (Examinador 1)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Dr. Elialdo Andriola Machado (Examinador 2)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

“A tarefa do cientista não pode ser a de encontrar uma teoria absolutamente correta, mas somente encontrar uma imagem que represente, o melhor possível os fatos. A afirmação de que uma teoria é a única correta, nada mais é do que expressão de uma crença pessoal. (SANTOS apud BOLTZMANN, 2009, p.114).”

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1 O tempo no livro didático	6
2.2 O tempo na física moderna.....	7
2.3 O significado mecânico de entropia	9
2.4 A flecha do tempo	11
3 METODOLOGIA	12
3.1 Os três momentos pedagógicos.....	12
3.2 Resoluções de problemas no ensino de Física	13
3.3 Aprendizagem significativa	13
4 ANÁLISE DO LIVRO DIDÁTICO.....	14
4.1 Quadro de análise dos livros didáticos	15
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	16
REFERÊNCIAS	17
APÊNDICE A - Sequência didática: um estudo sobre o tempo.....	20

PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE FÍSICA: UM ESTUDO SOBRE O TEMPO

TEACHING FOR PHYSICS TEACHING: A STUDY ON TIME

Anderson Hermes Cabral da Rocha¹

RESUMO

O tempo é uma grandeza física amplamente utilizada pelo ser humano desde a antiguidade até os dias de hoje. No cotidiano, ele está presente em nossas vidas de tal forma que se tornou parte da nossa identidade ao nos proporcionar a idade. Apesar de ser corriqueiramente utilizado no campo científico, colocando muitos dos estudos desenvolvidos pela ciência em dependência dele, seu conceito é pouco explorado dentro do ensino básico. Ao fazer um levantamento em alguns livros didáticos sobre a abordagem do tempo, percebemos uma carência recorrente. Então, num quadro de análise de cinco livros de autores e editoras diferentes, foram expostas as limitações desses materiais didáticos. Por tais motivos, apresentamos uma proposta didática que possa agregar ao livro didático uma contribuição positiva. Ela é fundamentada em seis tópicos temáticos que partem da conceitualização quantitativa, permeando a construção absoluta de tempo, até o relativismo introduzido pela física moderna, e destacando o entendimento de entropia para elucidação de fenômenos irreversíveis e sua relação com a flecha do tempo. Essa grandeza está tão conectada a nossa vida que influencia diretamente o caráter construtivista e intelectual do ser humano, de tal forma que um estudo direcionado a esse tema pode proporcionar uma aprendizagem verdadeiramente significativa.

Palavras-chave: Tempo. Entropia. Relatividade. Proposta didática.

ABSTRACT

Time is a physical quantity widely used by humans from antiquity to the present day. In everyday life, it is present in our lives in such a way that it has become part of our identity by giving us age. Despite being commonly used in the scientific field, placing many of the studies developed by science in dependence on it, its concept is little explored within basic education. As we survey some textbooks on the time approach, we find a recurring need. Then, in a framework of analysis of five books by different authors and publishers, the limitations of these teaching materials were exposed. For these reasons, we present a didactic proposal that can add to the textbook a positive contribution. It is based on six thematic topics that go from quantitative conceptualization, permeating the absolute construction of time, to the relativism introduced by modern physics, and highlighting the understanding of entropy for the elucidation of irreversible phenomena and their relation to the arrow of time. This greatness is so connected to our lives that it directly influences the constructivist and intellectual character of the human being, so that a study directed to this theme can provide a truly meaningful learning.

Keywords: Time. Entropy. Relativity. Didactic Proposal.

¹Aluno de graduação em Licenciatura Plena em Física na Universidade Estadual da Paraíba – Câmpus I.
E-mail: ahcdar@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Em decorrência das experiências vivenciadas dentro da sala de aula, notamos que os alunos esporadicamente questionam sobre a possibilidade de viagens no tempo e até mesmo sobre sua própria definição, provavelmente devido às grandes produções cinematográficas baseadas nele. Sendo assim, viu-se a necessidade de levantar informações dentro do próprio livro didático sobre o tema, porém se observou que a conceitualização trazida é corriqueiramente vinculada como grandeza escalar; quando não, vem desconexa dentro de todo o material, dificultando a elaboração de uma aula direcionada a esse tema, por ele exclusivamente subsidiada.

Diante disso, o objetivo da pesquisa foi propor uma sequência didática que apresentasse o conceito do tempo como medida, a forma como o ser humano o percebe, a irreversibilidade dos fenômenos naturais, o relativismo e a flecha do tempo. Como foi comentado inicialmente, o livro didático de física não traz uma construção epistemológica direcionada exclusivamente sobre o tempo. Para constatar esse fato, decidimos fazer um levantamento em alguns livros didáticos que atendem o Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) e que foram propostos para o ensino médio da rede pública de ensino, entre os anos de 2012 e 2014. Nesse sentido, nosso interesse é proporcionar uma compreensão do tempo que possa auxiliar nas interpretações do mundo moderno, tendo em vista que o aluno está intimamente conectado a processos irreversíveis em toda a sua vida, que sua compreensão pode promover uma interpretação mais adequada do mundo que o rodeia e assim, nos termos da teoria da aprendizagem significativa, ocasionar a relação dessas novas informações a ideias já existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Admitimos que uma contextualização que pretenda esgotar o tema careceria de, pelo menos, uma obra mais inteiramente dedicada a todas as concepções conhecidas de tempo. Cabe salientar que nosso interesse não ambiciona estabelecer sua definitiva conceitualização, contudo propomos trazer um entendimento complementar ao livro didático através de uma sequência didática, apresentando outras formas de entender o tempo além do conceito simplista das horas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O tempo no livro didático

O tempo e suas concepções são discutidos há séculos por teóricos de várias áreas de atuação, como filósofos, teólogos e cientistas. Platão (427-347 a.C.) interpretava o tempo pela rotação dos planetas; já para Aristóteles (384-322 a.C.), o tempo tinha um papel secundário nos estudos de movimentos; no caso de Santo Agostinho (354-430), o tempo se originou com a criação do Universo. Por sua vez, foi Galileu (1564-1642) que colocou o tempo como protagonista, introduzindo a medida nos estudos de movimento. Chegamos a Isaac Newton (1643-1727), que colocou todos os seus estudos em função do tempo. E, atualmente, devido às contribuições de Albert Einstein (1879-1955), temos uma interpretação relativística dele (MARTINS, 2002, p. 41).

Entretanto, tais concepções muitas vezes não são abordadas dentro do livro didático ou são substituídas por definições pouco usuais no caráter epistemológico. Alguns livros contextualizam essa grandeza física elencando-a entre outras, como observamos no trecho a seguir: “Chamamos de grandeza física tudo aquilo que pode ser medido. Tempo, massa, deslocamento e velocidade, por exemplo, são grandezas físicas” (NANI, 2014, p. 18). Em outra abordagem, o mesmo livro o menciona como uma grandeza escalar: “Além da massa e da temperatura, são exemplos de grandezas escalares o tempo, o comprimento [...]”. O que, de fato, não está errado, porém fica nítido que não é suficiente para responder aos anseios

corriqueiros de processos irreversíveis, tampouco para explicar possíveis viagens no tempo, tendo em vista que em muitos casos as outras grandezas ganham algum tipo de explicação matemática ou conceitual. Porém o tempo, que é importantíssimo na cinemática, dinâmica, entre outros campos de estudo, quando abordado pelo livro didático, por exemplo, na parte direcionada à física moderna, sob a ótica da física relativista, traz geralmente um pequeno texto que, por vezes, deixa de forma superficial o entendimento de dilatação do tempo, justificado através de uma equação. Devido a esses fatos, encontramos uma grande dificuldade em desenvolver um estudo sobre o tempo envolvendo uma construção epistemológica do seu conceito que esteja subsidiada exclusivamente pelo livro didático.

2.2 O tempo na física moderna

A percepção natural (senso comum) para a maioria das pessoas é a de que o tempo é o mesmo para todos, sem qualquer aceção de pessoas, flui igualmente e da mesma forma, independentemente do referencial ou do estado de movimento do observador, entendendo assim que é imparcial e imutável (absoluto). Esse entendimento de que o Universo tem um grande relógio que soa o seu “tic-tac” para todos da mesma forma é bem antiga e remonta à Grécia:

Aristóteles, por volta de 350 a.C., baseava-se em explicações deduzidas a partir de hipóteses, e não em experimentos. Uma dessas hipóteses fundamentais, por exemplo, era a de que toda substância possui um “lugar natural” no Universo. O movimento acontecia quando uma substância estava tentando chegar ao seu lugar natural. Ao tempo, também era atribuído um significado **absoluto**, na forma de um movimento a partir de um certo instante do passado (a criação do Universo) em direção a um objetivo final no futuro, seu lugar natural. (TIPLER, 2017, p. 19).

Nos últimos quinhentos anos, a física recebeu contribuições importantíssimas de homens como Galileu Galilei, Isaac Newton, Maxwell, Carnot e tantos outros, os quais a revolucionaram para sempre e tornaram as explicações de Aristóteles, acerca de fenômenos naturais, cada vez menos aceitas. Porém até o fim do século XIX, o tempo ainda era reconhecido como absoluto. Nessa época, alguns cientistas acreditavam que a descrição do Universo parecia estar completa, entretanto foi uma conclusão precipitada, tendo em vista a sofisticação e evolução constante das tecnologias usadas nos experimentos que testavam hipótese e leis físicas, por exemplo, o experimento de Michelson-Morley, que não conseguia ser explicado pela física clássica:

Havia sérias rachaduras nos alicerces do que hoje chamamos de física clássica. [...] a incapacidade da teoria de descrever o espectro de radiação emitido por um corpo negro e os resultados inexplicáveis do experimento de Michelson-Morley. Na verdade, a ruptura da física clássica ocorreu em muitos setores ao mesmo tempo: o resultado nulo do experimento de Michelson-Morley contrariava a relatividade newtoniana; o espectro da radiação de corpo negro não estava de acordo com as previsões da termodinâmica; o efeito fotoelétrico e os espectros dos átomos não podiam ser explicados pela teoria eletromagnética; os fascinantes fenômenos associados aos raios X e à radioatividade pareciam estar totalmente fora do contexto da física clássica. As teorias da mecânica quântica e da relatividade, formuladas no início do século XX [...] forneceram respostas para todos esses enigmas e muitos mais. (TIPLER, 2017, p. 19).

Destacamos o experimento de Michelson-Morley, pois foi através dele que a física do século XX conseguiu avançar na interpretação do tempo, nosso objeto de estudo. Em linhas gerais, Michelson queria verificar a existência do éter, um meio pelo qual a luz (ondas

eletromagnéticas) se propagaria no espaço, entretanto, além de verificar a inexistência de tal meio, tal experimento contribuiu para outras descobertas.

Michelson foi o primeiro a perceber que, embora o efeito do movimento da Terra sobre qualquer medida da velocidade da luz baseada em um percurso de “ida e volta”, [...] fosse pequeno demais para ser medido diretamente, seria possível medir a razão v^2/c^2 por um processo indireto, usando a interferência de ondas luminosas como um “relógio” muito preciso. O aparelho que ele projetou para executar esse tipo de medida recebeu o nome de interferômetro de Michelson. O objetivo do experimento de Michelson-Morley era medir a velocidade da luz em relação ao interferômetro (ou seja, em relação à Terra), o que equivaleria a demonstrar que a Terra estava em movimento em relação ao éter, representando, portanto, uma prova da existência do último. (TIPLER, 2017, p. 25).

Contrariando os resultados esperados por Michelson, esse experimento nos fez concluir que as equações de Maxwell estão corretas e que a velocidade das ondas eletromagnéticas é a mesma em todos os referenciais inerciais, independentemente do movimento da fonte em relação ao observador. O absoluto na velocidade da luz em referenciais inerciais significa que deve haver algum princípio de relatividade que se aplique tanto à mecânica quanto ao eletromagnetismo. Tal princípio não pode ser o da relatividade newtoniana. Assim as leis fundamentais da mecânica e a transformação de Galileu deveriam ser modificadas para que permanecessem invariantes ao serem submetidas a uma nova transformação. A dedução teórica dessa nova transformação foi o alicerce para a teoria da relatividade especial de Einstein (TIPLER, 2017, p. 29).

Em 1905, Albert Einstein (1879-1955) propôs a teoria da relatividade especial. Baseando-se em descobertas recentes, ele apresentou dois postulados que são os seguintes: “1- As leis da física são as mesmas em todos os referenciais inerciais. Não existe um referencial absoluto. [...] 2- A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor C em todas as direções e em todos os referenciais inerciais” (HALLIDAY, 2009, p. 148), sendo ela absoluta e com valor medido em $C = 299\,792\,458$ m/s.

A partir desses postulados, o mundo moderno tomou conhecimento de uma “nova” grandeza física, o espaço-tempo, que “precisava” manter constante a velocidade da luz, ou seja, nesse caso, o espaço e o tempo são apenas partes de uma única grandeza. Eles se comunicam quando o tempo se dilata em relação ao espaço ou o espaço se comprime em relação ao tempo, apenas para manter a equivalência da velocidade da luz constante. Logo, se a velocidade é o quociente entre o espaço e o tempo e é necessário manter a velocidade da luz constante para um espaço diferente, por consequência, verifica-se uma dilatação no tempo. Este seria o novo conceito de tempo: deixa de ser absoluto e passa a ser relativo, dependendo do referencial e do movimento.

Uma consequência é o fato de que o tempo não transcorre a uma taxa fixa, como se fosse marcado com regularidade mecânica por algum relógio-mestre que controla o Universo. Na realidade, o fluxo do tempo é ajustável: o movimento relativo modifica a rapidez com que o tempo passa. Antes de 1905, essa ideia seria impensável para a maioria das pessoas. Hoje, engenheiros e cientistas a encaram naturalmente, porque a familiaridade com a teoria da relatividade restrita os ajudou a superar os preconceitos. Assim, por exemplo, qualquer engenheiro envolvido com o Sistema de Posicionamento Global dos satélites NAVSTAR precisa usar a relatividade de forma rotineira para determinar a passagem do tempo nos satélites, já que o tempo passa mais devagar nos satélites do que na superfície terrestre. (HALLIDAY, 2009, p. 147).

Através desses dois postulados, Einstein surpreendeu o mundo ao mostrar que as velhas ideias a respeito da relatividade estavam erradas, embora todos estivessem tão

acostumados com elas que pareciam óbvias. O fato de parecerem óbvias era uma consequência das baixas velocidades do cotidiano, as quais, em comparação à velocidade da luz, são absurdamente pequenas, quase como se todos os movimentos estivessem em repouso quando comparados a ela. É interessante resultar que as teorias de Einstein fornecem resultados corretos para todas as velocidades possíveis e preveem muitos efeitos que parecem estranhos justamente porque ninguém jamais os havia observado (HALLIDAY, 2009, p. 147).

Anos depois, exatamente em 1916, Einstein publicou a teoria da relatividade geral (TRG), à qual é acrescentada a presença da gravidade, intercomunicando-a com o espaço-tempo:

A TRG prevê outra dilatação do tempo na presença de um campo gravitacional. Relógios (ou processos atômicos) próximos à superfície da Terra, por exemplo, andam mais lentamente do que outros situados a grandes altitudes. Embora, neste caso, a diferença seja bastante pequena, experimentos para detectar tal variação já foram realizados com sucesso. (FERRER, 2002, p. 42).

A TRG foi bastante explorada na cosmologia, especificamente, na gravitação em estudos sobre buracos negros e em aplicações em satélites para determinar a passagem do tempo, pois, como foi dito anteriormente, o tempo passa mais devagar nos satélites do que na superfície terrestre, nas teorias de formação do Universo, entre outros campos de estudo. Uma das suas aplicações mais curiosas é o fato de colaborar com as teorias de viagem no tempo, o que tem sido bastante explorado em produções cinematográficas de ficção científica.

2.3 O significado mecânico de entropia

A palavra entropia não tem tradução direta para nenhum idioma, pois foi inventada e divulgada por Rudolf Clausius, em 1865, em um artigo que trazia seu conceito. Ela é, de fato, uma junção de palavras do grego que pode significar “transformação” (BISPO, 2015, p. 59). Tendo em vista esses aspectos, partir dessa tradução para explicar a entropia necessita ainda de alguns complementos a fim de elucidá-lo, como um termo que agregue uma interpretação quantitativa e outro termo que contribua para um entendimento de que essa grandeza aumenta em uma direção favorável. Alguns livros didáticos de física utilizam a associação entre “entropia” e “medida de desordem” como uma proposta pedagógica simplificada para explicar o conceito.

Considerando que o uso de subsunçores é um recurso amplamente usado no meio pedagógico para introduzir uma nova informação, então “é melhor considerar o subsunçor como um conhecimento prévio especificamente relevante para uma nova aprendizagem” (MOREIRA, 2012, p. 5). Nesse caso, referindo-se a alunos do ensino básico, em que as técnicas pedagógicas devem ser equivalentes e funcionais, geralmente o uso da palavra “desordem” seria o conceito prévio contido na estrutura cognitiva do aluno e que atribui à ideia de uma direção favorável, como o oposto de “ordem”; acrescentando a palavra “medida”, faria uma associação com o aspecto quantitativo. Assim, seria uma forma próxima do conceito de probabilidade de que algum fenômeno, pouco provável, viesse a acontecer.

Ao estudar física no ensino médio, especificamente a lei da entropia, percebe-se que ela é abordada de maneira macroscópica dentro do estudo da termodinâmica. Sua concepção analítica pode nos proporcionar uma aplicabilidade capaz de compreender a grandeza tempo. A partir da entropia, podemos entender os fenômenos irreversíveis que estão contidos no tempo, de que um momento passa para outro, enquanto ela, por sua vez, rege tudo unidirecionalmente, sem permitir retrocessos.

O conceito de entropia veio de interpretações mecânicas e posteriormente chegou a sua interpretação estatística através de Maxwell. Por mais controverso que pareça, com o intuito

de chegar a um modelo mecânico, Ludwig Boltzmann (1844-1906) publicou um artigo intitulado “Acerca do significado mecânico da segunda lei da teoria do calor”, trazendo uma interpretação mais analítica e mecânica para a segunda lei da termodinâmica, acabando assim por tornar essa interpretação diretamente relacionada a probabilidade. Hoje seu trabalho geralmente é simplificado em uma equação ($S = k \log W$) onde, $k = 1.38065 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ é chamado de constante de Boltzmann, W corresponde a quantidade de estados acessíveis, o S nos fornece a entropia. É uma equação de probabilidade que relaciona a entropia de um gás ideal com a quantidade de estados acessíveis. Ela está gravada acima de seu busto em uma lápide no cemitério de Viena (DAHMEN, 2006, p. 283).

De fato, é notório que Boltzmann sempre teve intenções de propor a segunda lei da termodinâmica em aplicações mais gerais e mecânicas. Ele comenta dentro do seu artigo que “o objetivo [...] é estabelecer uma prova puramente analítica e geral da segunda lei da termodinâmica, bem como descobrir o teorema da mecânica que a ela corresponde” (BOLTZMANN *apud* DAHMEN, 2006, p. 284). Entretanto, ao usar como objeto de estudo apenas os sistemas gasosos, ele foi brutalmente rebatido e criticado. Com o tempo, essa lei foi sendo utilizada em outros estudos e modelou outros fenômenos satisfatoriamente. Um exemplo real disso está presente nos trabalhos desenvolvidos por J. W. Gibbs (1839-1903), que estendeu a entropia para os estudos da termoquímica, aplicando-a em misturas de fluidos heterogêneos e indo até reações químicas, demonstrando que o estudo da entropia era aplicável a muitos processos naturais (SALINAS, 2010).

É interessante destacar que, apesar de ter sido criticado aos 22 anos pela publicação de sua tese de doutorado, a qual mostrava uma representação fenomenológica baseada em incerteza probabilística que era pouco aceita pelos teóricos da época, Boltzmann sempre defendeu, até sua morte em 05 de setembro de 1906, o uso e a aplicação do conceito de entropia, segunda lei da termodinâmica, em quaisquer fenômenos naturais em que ela pudesse ser aplicada. Em uma palestra intitulada “Acerca da mecânica estatística”, apresentada no Congresso de Ciências St. Louis, nos EUA, em 1904, e redigida e publicada em 1905, um ano antes de sua morte, traduzido por Dahmen em 2006, Boltzmann deixou sua opinião acerca da aplicação de entropia em processos naturais, inclusive no uso fenomenológico em processos irreversíveis e na interpretação do tempo, argumentando que:

As leis da mecânica não se alteram sequer minimamente se trocarmos, sem mais nem menos, o sinal do tempo. Assim processos puramente mecânicos podem ocorrer num sentido como no seu oposto, i.e., no sentido de tempo crescente como no de tempo decrescente. Notamos, porém, no nosso dia a dia que futuro e passado não coincidem tão perfeitamente quanto esquerda e direita, mas que ambos são completamente diferentes. Isto é mais precisamente colocado através da chamada segunda lei da termodinâmica. Ela nos diz que, quando um sistema arbitrário de corpos que não interage com outro sistema é deixado por si só, é sempre possível dizer em que direção uma mudança de estados se dará. Pode-se, na verdade, definir uma função da totalidade dos corpos, a entropia, com a propriedade que toda mudança de estado só pode ocorrer se ela implicar um aumento dessa função; ou seja, com o aumento do tempo, a função sempre aumenta. Tal lei só pode ser obtida através de abstração, como o princípio de Galileu, uma vez que é impossível isolar completamente um corpo da influência de outros corpos. Como esta lei, junto a outras, sempre levou a resultados corretos até o momento, aceitamo-la como correta, do mesmo modo que aceitamos o princípio de Galileu. (BOLTZMANN, 2006, p. 264).

Essa é a seta que leva o Universo a sair de uma situação mais organizada e partir probabilisticamente para uma situação desorganizada. Isso é o que nos permite enxergar o começo do Universo e conseqüentemente nos direciona à conclusão de que ele pode ter um fim. Sabemos que todas as leis e equações físicas são imparciais, isto é, quando operadas, não

escolhem um sentido em detrimento de outro. Porém quando nos referimos a entropia, percebemos uma direção favorável no tempo apontando para o futuro, e a saída para essa contradição é baseada na Estatística (SALINAS, 2010).

A entropia tem uma epistemologia muito abrangente. É notório que ela pode ser aplicada teoricamente tanto a fenômenos microscópicos quanto a macroscópicos. Baseado na interpretação fenomenológica do próprio Boltzmann, o conceito de entropia agregado ao conceito de probabilidade pode servir de base para entender fenômenos irreversíveis e interpretar a flecha do tempo.

2.4 A flecha do tempo

As teorias da mecânica clássica, mecânica quântica e da relatividade geral são fundamentadas em equações que não fazem distinção em relação à ordem na qual os fatos acontecem. Por exemplo, se uma taça é largada da mão de uma pessoa e, ao cair, se choca contra o chão, quebrando-se em “quarenta e oito” pedaços, que se afastam à medida que perdem o pouco de energia cinética que ainda lhes resta, segundo as equações e teorias físicas, para inverter esse processo e tornar a taça completa novamente, bastaria apenas inverter o sentido de cada vetor de velocidade dos “quarenta e oito pedaços”, ou seja, seria um processo reversível. Nas palavras de Ferrer, podemos ver da seguinte forma:

A mecânica clássica, a teoria da relatividade e a mecânica quântica são teorias reversíveis temporalmente, ou seja, teorias cujas estruturas matemáticas não fazem distinção entre t e $-t$. Dito de outro modo, isso significa que, se filmássemos um sistema puramente mecânico, por exemplo, como um pêndulo que oscila sem atrito, e exibíssemos o filme de trás para frente, seríamos incapazes de diferenciar as duas situações (ambas obedeceriam às mesmas leis físicas). De modo semelhante, as equações de Maxwell também não distinguem o passado do futuro, permitindo que ondas eletromagnéticas avancem ou retrocedam no tempo sem distinção. Um átomo que absorve um fóton pode ser visto como o inverso temporal de um átomo que emite um fóton. (FERRER, 2002, p. 42).

Baseados nisso, alguns teóricos utilizam a entropia para entender o tempo, apesar de as equações e teorias físicas não fazerem distinção sobre a ordem na qual as coisas acontecem. Assim temos uma contradição nos processos naturais, ou seja, processos irreversíveis acontecem o tempo todo e, para esses teóricos, a irreversibilidade está vinculada à segunda lei da termodinâmica, pois “no nosso dia a dia o futuro e o passado não coincidem tão perfeitamente quanto esquerda e direita, mas que ambos são completamente diferentes. Isto é mais precisamente colocado, através da chamada segunda lei da termodinâmica” (BOLTZMANN, 2006, p. 264). Sendo assim, processos naturais sempre acontecem de sistemas de maior energia partirem para o de menor energia, de sistema mais agregados tornarem-se sistemas mais desagregados, e esse fenômeno é conhecido como entropia:

Segundo uma tradição que se iniciou no século XIX com Ludwig Boltzmann (1844-1906), considerado o fundador da mecânica estatística, e que continuou ao longo do século XX, principalmente nos trabalhos de Hans Reichenbach e Adolf Grünbaum, o aumento da entropia nos sistemas chamados quase isolados e a consequente irreversibilidade física podem ser explicados por considerações de natureza probabilística: haveria uma maior probabilidade de ocorrência de determinados estados microscópicos compatíveis com a evolução futura do sistema no sentido da entropia crescente, em contraposição a uma probabilidade quase nula de ocorrência de outros estados, correspondentes a um conjunto de condições iniciais preciso que levasse à reversibilidade. (FERRER, 2002, p. 43).

Atualmente no estudo da termodinâmica em sistemas dissipativos, longe de equilíbrio, ao se utilizarem equações não lineares que regem o sistema, é possível notar uma flecha do tempo (FERRER, 2002). Um experimento desenvolvido pela física de partículas elementares demonstra um decaimento que aparentemente parece obedecer a essa flecha do tempo:

O káon neutro (ou K^0) transforma-se espontaneamente na sua antipartícula (antikáon ou \bar{K}^0), e vice-versa. Embora a transformação káon-antikáon seja simétrica à transformação antikáonkáon, o káon permanece mais tempo como antikáon do que como káon. Essa assimetria sugere a existência de uma flecha do tempo no mundo das partículas elementares, privilegiando um dos processos de decaimento ao invés do outro. (FERRER, 2002, p. 43).

Probabilisticamente a entropia aumenta com o passar do tempo e é por esse motivo que temos a percepção de que alguns fenômenos ocorrem sempre nessa única direção. É esse aumento da entropia que direciona a flecha do tempo para apenas um único sentido, e esse sentido é o que chamamos naturalmente de futuro. Como foi discutido até o momento, um grande desafio foi usar o conceito de entropia para explicar o de flecha do tempo sem ter que mergulhar nas implicações matemáticas, pois para o ensino básico isso é inviável. Equações probabilísticas nesse nível são pouco usuais, entretanto as implicações teóricas sobre o tempo numa perspectiva de física moderna podem trazer impactos positivos e motivadores de tal maneira que possibilitem uma nova forma de enxergar o mundo, tendo em vista que discutiremos características do tempo, como dilatação, relativismo, relação com a gravidade, coexistência de passado, presente e futuro, viagem no tempo e, por fim, inserção do conceito flecha do tempo e sua íntima ligação com entropia. Silvio Dahmen destaca que uma das maiores contribuições de Ludwig Boltzmann sobre o assunto é:

Podemos entender irreversibilidade aqui em seu sentido mais amplo: há na natureza um sentido preferencial do tempo para a maioria dos processos naturais, a chamada flecha do tempo (termo cunhado por Eddington em 1928) [...] a irreversibilidade deve surgir naturalmente das leis da mecânica. Mas se estas são reversíveis, surge então um paradoxo. Foi buscando uma resposta a esta pergunta que Boltzmann fez aquilo que, nas palavras de Schrödinger, representa seu maior legado à física [19]: mostrar que aquilo que nos parece impossível, a reversibilidade dos fenômenos naturais, na verdade não é impossível, mas sim, improvável. (DAHMEN, 2006, p. 283).

3 METODOLOGIA

3.1 Os três momentos pedagógicos

Fizemos um levantamento em alguns livros didáticos propostos para o ensino médio em busca de definições, conceitos ou características relacionadas com a grandeza tempo. O interesse, neste caso, foi verificar a abordagem utilizada pelos livros e demonstrar a relevância dessa proposta didática abordando o tema com a finalidade de proporcionar um ensino multifacetado. Após esse levantamento, desenvolvemos uma sequência didática (Apêndice A) baseada em “os três momentos pedagógicos” (MUENCHEN, 2014).

O primeiro momento deve ser iniciado com um problema envolvendo o tema e seus conceitos, situações e interpretações que pudessem ser respondidos com os conhecimentos do aluno, a partir das suas respectivas estruturas cognitivas preexistentes. Nesse momento pedagógico, os alunos seriam desafiados a expor o que pensavam sobre as situações, de modo que possa refletir sobre o assunto. Em nosso caso, propusemos um questionário com dez perguntas relacionadas à “grandeza tempo”, em que os alunos devem ter um momento preestabelecido para responder a elas, as quais se baseavam na resolução de problemas no

ensino da física. Assim tentamos desenvolver questões de cunho problemático e não nos limitar à feitura de meros exercícios.

No segundo momento, o professor introduziu os conhecimentos de física necessários para a compreensão do tema que possibilite uma nova perspectiva para a resolução das questões iniciais. Esse momento é dividido em seis eixos temáticos, separados categoricamente em fases que vão agregando informações sobre o conceito de tempo até a sua interpretação através da entropia.

O terceiro momento foi programado para aplicar novamente o questionário I com o propósito de analisar e discutir as alterações realizadas nas respostas feitas pelos alunos. A partir disso, seria possível fazer uma autoavaliação sobre o impacto dessa sequência didática e verificar se houve, de fato, uma aprendizagem potencialmente significativa (MOREIRA, 2011).

3.2 Resoluções de problemas no ensino de Física

Uma das grandes problemáticas que encontramos no nosso ensino, sobretudo no ensino de ciências, e especificando ainda mais, no ensino de Física, é a falta de abordagem de conceitos. De modo geral, a ênfase nas aulas de Física é dada mais aos resultados e menos aos processos. Assim, o fenômeno físico é pouco explorado, destacando-se mais a resolução do exercício. Já no caso de resolução de problemas, as suas implementações despertam questionamentos e discussões mútuas no processo de ensino e aprendizagem. Em contrapartida, a resolução puramente de exercícios desenvolve técnicas repetitivas e pouco conceituais, o que geralmente vem a ocorrer porque uma boa parte dos livros traz exercícios; outro ponto é que a maioria dos professores transcreve o que está nos livros.

Portanto, em sala de aula, na maioria das vezes é trabalhada a aplicação de exercícios aos alunos. Daí, podemos supor esse fato como uma possível causa da falta de interesse do aluno, e pior, da imagem negativa disseminada sobre a disciplina de Física, tanto no corpo escolar quanto na comunidade. Nós enxergamos que a resolução de exercícios influencia a obtenção do produto final, mas pode deixar a desejar quando falamos de trabalhar conceitos fundamentais ligados a eles. Esse problema pode se agravar se entendermos que essa abordagem em sala de aula acontece com frequência.

Uma possível solução para mudarmos essa tendência nas práticas educativas é a inserção da abordagem de dado conteúdo por meio de resoluções de problemas a partir dos seus conceitos. Essa metodologia pode trazer a possibilidade de fugir do ensino tradicional, pois tem a característica de apresentar, em um momento inicial, um problema, com o objetivo de fazer os alunos refletirem, questionarem e trazerem suas concepções prévias sobre uma possível solução para aquele problema.

A partir disso, torna-se possível mexer com alguns instintos dos alunos, tais como curiosidade, capacidade de lidar com conflitos na procura pela solução e de trabalhar com o cruzamento de alternativas, entre outros. Tais instintos são importantes para ampliar o entendimento e possibilitar a inserção de um novo conhecimento. A partir do problema visto e dos desfechos obtidos pelos alunos com suas hipóteses, o professor dá continuidade abordando o conteúdo que oferecerá suporte para a solução desejada.

Concluimos que não há regras para os problemas trabalhados nesse tipo de método, os quais podem ser solucionáveis ou não, podem ser solucionáveis até certo ponto e depois não haver mais uma solução. O fato é que esse tipo de metodologia tem por missão fazer o que metodologias tradicionais geralmente não fazem, que é estimular a autonomia do aluno em direção ao saber (PEDUZZI, 1997).

3.3 Aprendizagem significativa

A falta de interesse do aluno dentro da sala de aula é apenas um reflexo cultural e inconsciente da nossa sociedade, que, politicamente falando, faz pouco caso da escola e da educação. Isso nos possibilita concluir que esse é um problema antigo e vai muito além do contexto escolar. Sendo assim, a nossa proposta não tem a intenção de nomear problemas envolvidos na escolarização, mas de propor um ensino significativo para um conteúdo específico na nossa sequência didática.

Nesse sentido, Moreira afirma a irrelevância de identificar culpados ou problemas quando queremos tratar e desenvolver um ensino que produza aprendizagem significativa (MOREIRA, 2011). Por outro lado, destacamos a relevância de considerar o meio social do aluno, pois sabemos que este está concentrado no seu “universo” e gasta a maior parte da sua atenção em problemas pessoais, casa, escola, amigos, redes sociais, jogos, etc. Esses são os seus aspectos socioculturais, é aí que está concentrado o seu histórico.

Para introduzir o conceito de tempo, vamos usar o próprio conceito na interpretação popular. A fim de agregar o entendimento de flecha do tempo, utilizaremos a ideia de entropia, sob a qual utilizaremos a ideia de “medida de desordem” e assim sucessivamente, recorrendo a estruturas cognitivas preexistentes do aluno, assimilando uma nova informação a outra parecida preexistente. Assim, usando esse método de subsunção, pode-se desenvolver uma aprendizagem significativa.

Em termos simples, subsunção é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto. Tanto por recepção como por descobrimento, a atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de conhecimentos prévios especificamente relevantes e da interação com eles. (MOREIRA, 2012, p. 2).

Dessa forma, lançaremos mão de exemplificações, sejam elas reais ou mentais, relacionadas direta e indiretamente com o tema. A proposta é que o aluno possa remeter a sua estrutura cognitiva preexistente ao conteúdo abordado dentro da sala de aula ao realizar interações mentais com fenômenos reais ou teóricos do seu dia a dia.

4 ANÁLISE DO LIVRO DIDÁTICO

Analizamos cinco livros didáticos e a forma como seus textos abordam alguns dos conceitos da grandeza tempo. Tomando por base os Parâmetros Curriculares Nacionais - PCN+ (BRASIL, 2002), buscou-se verificar nesses livros uma abordagem do conceito do tempo que possibilitasse uma interpretação da origem e evolução do Universo e que contribuísse especificamente com o tema estruturador “Universo, Terra e vida”.

Finalmente, será indispensável uma compreensão de natureza cosmológica, permitindo ao jovem refletir sobre sua presença e seu “lugar” na história do Universo, tanto no tempo como no espaço, do ponto de vista da ciência. Espera-se que ele, ao final da educação básica, adquira uma compreensão atualizada das hipóteses, modelos e formas de investigação sobre a origem e evolução do Universo em que vive, com que sonha e que pretende transformar. Assim, **Universo, Terra e vida** passam a constituir mais um tema estruturador. (PCN+, 2002, p. 70, grifo nosso).

Dentro desse tema estruturador, o interesse é direcionar o aluno a confrontar-se com os enigmas da vida e do Universo e a especular sobre eles, considerando o que faz parte das preocupações frequentemente presentes entre jovens nessa faixa etária. Respondendo a esse

interesse, é importante propiciar-lhes uma visão cosmológica das ciências que lhes permita se situarem na escala de tempo do Universo (BRASIL, 2002, p. 78).

Nessa amostra, analisaremos um total de cinco livros propostos para a adoção no ensino médio e que atendem os parâmetros do PNLD nos anos correspondentes, tanto para a rede pública de ensino quanto para a particular, entre os anos de 2012 e 2014, deixando claro que alguns desses títulos estão em pleno exercício no ano de 2019, apenas com novas edições. Nesse sentido, o quadro contido no subitem 4.1 traz uma análise de cinco livros didáticos e suas abordagens sobre o tempo. Nessa análise, buscamos os seguintes aspectos:

- I) Um texto que trate exclusivamente sobre o tempo;
- II) A conceitualização quantitativa como grandeza escalar;
- III) A percepção absoluta de tempo;
- IV) O relativismo introduzido pela física moderna;
- V) O entendimento de entropia para elucidação de fenômenos irreversíveis e a sua relação com a flecha do tempo.

4.1 Quadro de análise dos livros didáticos

Quadro 1: Análise dos livros didáticos

AUTOR	LIVRO	ANO	ANÁLISE
Ana Paula Souza Nani <i>et al.</i>	Ser Protagonista Box Física: Física ensino médio, volume único, 1. Ed. São Paulo, SM.	2014	Na primeira amostra, o aspecto (II) está presente. No conteúdo direcionado para o terceiro ano do ensino médio, verificou-se o aspecto (IV). Não foram identificados os aspectos (I), (III) e (V) em nenhum das três series.
José Roberto Bonjorno <i>et al.</i>	SIM, Ensino médio, Física: 3ª série. 1. ed. São Paulo, FDT.	2014	Não foi referenciado ou identificado nenhum texto que tratasse prioritariamente do tempo. Resumidamente, os aspectos (I) e (IV) foram identificados. Os aspectos (I), (III) e (V) não estão presentes.
Antonio Máximos Ribeiro da Luz e Beatriz Alvarenga	Projeto VOAZ Física, São Paulo, Scipione.	2012	Apesar de ser um livro consideravelmente contextualizado, não apresenta parágrafo que trate prioritariamente do tempo. Não foram identificados os aspectos (I), (III) e (V).
Kazuhito Yamamoto e Luiz Felipe Fuke	Física para o ensino médio 3, 3 ed. São Paulo, Saraiva.	2013	Em particular, este livro se destaca em relação aos demais, pois traz os aspectos (I), (II), (III) e (IV). Entretanto, estão desconexos dentro de todo o material didático. Além disso, não se verificou o aspecto (V).
Aurélio Gonçalves Filho e Carlos Toscano	Física: interação e tecnologia, volume 3, 1. ed. São Paulo, Leya.	2013	Este livro traz uma abordagem mais técnica, científica, porém também não foram encontrados os aspectos (I), (III) e (IV).

Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concordamos que o conceito de entropia pode ser aplicado teórica e matematicamente a vários fenômenos naturais, desde que usemos os pressupostos corretos. O próprio Boltzmann, cofundador do conceito de entropia, acreditava ser este um conceito tão fundamental quanto a própria energia e deveria ser entendido com base nas evidências fenomenológicas e aplicá-lo a quaisquer fenômenos naturais.

Levando em consideração as muitas aplicações que envolvem a entropia, podemos concluir que conceituá-la microscópica e macroscopicamente, de forma teórica e quantitativa, nos mostra o quão complexo e usual é seu conceito. Ao agregar todo esse potencial aos estudos da física moderna, conceituamos com um pouco mais de precisão a grandeza física que denominamos de tempo.

A partir disso, desenvolvemos uma sequência didática que considera a importância de inserir uma abordagem de conteúdo por meio de resoluções de problemas utilizando os três momentos pedagógicos. Tal metodologia diverge de uma abordagem tradicional, pois tem a característica de trazer, em um momento inicial, um problema, com o objetivo de fazer com que os alunos reflitam, questionem e apresentem suas concepções prévias, desenvolvendo eles mesmos uma inserção nova sobre o tema em suas respectivas estruturas cognitivas, baseada nas resoluções dessas questões.

A intenção não é traçar um roteiro em que o aluno siga um passo a passo e chegue a conclusões preconcebidas, mas permitir que tenha subsídio para entender e conquiste autonomia no modo de pensar sobre o tema, ou seja, queremos estimular o aluno em direção ao saber.

REFERÊNCIAS

- BISPO, Ana Paula. Entropia: a medida da desordem do universo. **Ciência Hoje**, v. 54, n. 323, p. 58-59. 2015.
- BOLTZMANN, L. Acerca da mecânica estatística. Tradução: Silvio Renato Dahmen. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 28, n. 3, 2006. p. 259-266. Título original: Uber statistische Mechanik, 1905.
- BRASIL. **Parâmetro Curricular Nacional (PCNs+)**. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Física. Ensino Médio. Brasília, DF: MEC/SEF, 2002.
- DAHMEN, Silvio R. A obra de Boltzmann em Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 28, n. 3, p. 281-295, 2006.
- GREENE, Brian. **Além do Cosmos: o tempo**. Vídeo com 44min54s, publicado pelo canal Science-Doc HD. EUA, National Geographic Channel, 3 de abril de 2012. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=vrYtmJUuEDE&feature=youtu.be>. Acesso em: 03 jun. 2019.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Jearl Walker. **Fundamentos de física: óptica e física moderna**. Tradução e revisão técnica de Ronaldo Sérgio de Biasi. v. 4, 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- MARTINS, André Ferrer; ZANETIC, João. Tempo: Esse velho estranho conhecido. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 54, n. 2, p. 41-4, 2002.
- MOREIRA, Marco Antonio. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Instituto de Física – UFRGS, Porto Alegre, RS, 2012. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>. Acesso em: jun. 2017.
- MOREIRA, Marco Antonio. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)**. Instituto de Física – UFRGS, Porto Alegre, RS, 2011. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>. Acesso em: mar. 2017.
- MUENCHEN, Cristiane; DELIZOICOV, Demétrio. Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro “física”. **Ciência e educação**, Bauru, v. 20, n. 3, p. 617-638, 2014.
- PEDUZZI, Luiz. Sobre a resolução de problemas no ensino da Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, SC, v. 14, n. 3, p. 229-253, 1997.
- PESSOA, Osvaldo Jr. **Paradoxo dos gêmeos em aviões**, Filosofia da Ciência, USP, São Paulo, SP, 2012. Disponível em: <http://opessoa.fflch.usp.br/sites/opessoa.fflch.usp.br/files/TR-Exp-2-Avioes.pdf>. Acesso em: jul. 2019.
- SALINAS, Silvio R. A. **O conceito de entropia e a seta do tempo dos processos naturais**. Vídeo com 1h47min35s, publicado pelo canal Ciencia19h IFSC/USP, São Paulo, abril de 2010. Disponível em: <http://ciencia19h.ifsc.usp.br/ciencia19hwp/o-conceito-de-Entropia-e-a-seta-do-Tempo-dos-processos-naturais/>. Acesso em: 07 nov. 2019.

SANTOS, Zandoni Tadeu Saraiva. **Conteúdo de entropia na física do ensino médio: Análise do material didático e abordagem histórica**, 2008. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/180>. Acesso em: 22 fev. 2019.

SANTOS, Zandoni Tadeu Saraiva. **Ensino de entropia: um enfoque histórico e epistemológico**. Dissertação (Doutorado em Educação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2009.

SILVA, Alex Alves da. **As várias facetas do termo entropia**. Será difícil entender este conceito? Dissertação (Graduação em Licenciatura em Física) - Universidade Católica de Brasília. Brasília, 2007.

TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN, Ralph A. **Física moderna**. tradução e revisão técnica de Ronaldo Sérgio de Biasi. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

Referência bibliográfica dos livros analisados

ALVARENGA, Beatriz; MÁXIMOS, Antonio. **Projeto VOAZ Física**, São Paulo: Scipione, 2012.

BONJORNO, José Roberto; RAMOS, Clinton; PRADO, Eduardo; CASEMIRO, Renato. **Física: eletromagnetismo e física moderna**. 3º ano. 1. ed. São Paulo: FDT, 2014.

GONÇALVES, Aurélio; TOSCANO, Carlos. **Física: interação e tecnologia**. 1. ed. v. 3, São Paulo: Leya, 2013.

NANI, Ana Paula Souza; VALIO, Adriana Benetti Marquel; FUKUI, Ana; FERDINIAN, Bassam; OLIVEIRA, Gladstone Alvarenga; MOLINA, Madson de Melo; VENÊ. **Ser Protagonista Box Física: Física ensino médio: volume único**. 1. ed. São Paulo: SM, 2014.

YAMAMOTO, Kazuhito; FUKU, Luiz Felipe. **Física para o ensino médio**. 3º Ano, 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, na pessoa de Jesus Cristo, que, através da sua palavra escrita na Bíblia, proporcionou-me o entendimento necessário para conciliar as doutrinas bíblicas com as descobertas científicas. Que o meu singelo agradecimento possa se estender aos meus pais, que sempre estiveram presentes na minha vida. Agradeço principalmente a minha esposa e filha, que são minhas motivadoras, alicerce de todo o meu incentivo para realizar qualquer coisa. A todos os professores, que me capacitaram a chegar até aqui. Aos professores Elialdo Machado, que me recepcionou calorosamente no curso de Física como coordenador e professor, e Antônio Pinto, que me mostrou, através do exemplo, como ser um professor comprometido e doado ao trabalho, desde a época do cursinho para o vestibular no CEDUC até hoje na UEPB, além de terem se disponibilizado a fazer parte da minha banca examinadora. Por fim, o meu agradecimento especial a alguém que, além de acreditar em mim, sempre nutrindo estima, motivando, ensinando, agora me orientando e me alavancando para a reta final: obrigada, Prof. M.^a Ruth Brito F. Melo, por ter acreditado em mim.

APÊNDICE A - Sequência didática: um estudo sobre o tempo

1. Identificação

Conteúdo de Física

Aplicação dessa sequência: Ensino médio

Série: 2º ou 3º ano do médio

Tempo previsto: 6 aulas de 45 minutos

Tipo de aula: expositiva e dialogada

2. Tema: Um estudo sobre o tempo

3. Conteúdo programático

- O tempo como medida
- O tempo na percepção humana
- O tempo para a física moderna
- O tempo e a gravidade
- Coexistência do tempo: passado, presente e futuro
- Flecha do tempo

4. Objetivos gerais

- Estimular os argumentos do estudante e seu entendimento sobre o tempo;
- Promover a compreensão de conceitos e fenômenos físicos relacionados ao passado, presente e futuro;
- Trazer e discutir a proposta de espaço-tempo de Albert Einstein;
- Debater sobre a possibilidade de viagem no tempo;
- Apresentar o conceito de flecha do tempo.

5. Objetivos específicos

- Fazer o aluno perceber que medir o tempo, apesar de útil, não o define;
- Apresentar o conceito do “agora” para observadores em repouso ou com movimentos distintos em relação a algum referencial preestabelecido;
- Ser capaz de responder qual a relação entre tempo e gravidade;
- Compreender a coexistência do tempo;
- Interpretar a percepção de processos irreversíveis, fazer a conexão com a entropia e introduzir o conceito de flecha do tempo.

6. Recursos/Materiais necessários

Questionário previamente impresso (um para cada aluno), TV ou projetor com caixa de som, quadro e lápis.

Primeiro momento pedagógico

Desenvolvimento

Neste momento, é apresentado um questionário com dez perguntas para estimular a busca por conceitos, situações e possíveis interpretações através dos conhecimentos prévios dos alunos e que estejam envolvidos no tema. Os alunos são desafiados a expor o que pensam sobre as situações relacionadas ao tema a partir de problemas possíveis e reais; possíveis, mas

pouco prováveis; ou impossíveis, a fim de iniciar o pensamento sobre o assunto para que eles próprios acessem suas respectivas estruturas cognitivas em busca de algum embasamento preexistente para compreender e resolver o questionário I.

Questionário I

(OBS: Para essas respostas, não existe certo ou errado, apenas o que você pensa sobre o assunto!)

1. O que é o tempo?
2. Você acredita que o tempo passa igualmente para todos?
3. Você consegue perceber alguma conexão entre tempo, distância e gravidade?
4. Imaginando que tudo fosse possível, como você faria para que o tempo passasse mais devagar apenas para você?
5. Você já desejou que o tempo passasse mais devagar em um determinado momento vivenciado por você? Em sua opinião, isso seria possível?
6. Viagem no tempo é real ou ficção científica?
7. Será que um dia a viagem no tempo será possível?
8. Há um dito popular “O tempo não comprou passagem de volta”, que é mais conhecido em algumas regiões do Nordeste como “O tempo não volta!”. Em que tipo de situação você utilizaria tal expressão?
9. Em sua opinião, qual motivo originou a expressão “O tempo não volta!”?
10. Pense em uma pessoa muito querida que não esteja em nosso presente, pois morreu. Independentemente de crença e religião, será que essa pessoa assim como o passado se foi, deixou de existir, foi apagada para sempre da história do universo?

Segundo momento pedagógico

Desenvolvimento

O segundo momento inicia com a apresentação de seis tópicos temáticos que serão trabalhados de forma expositiva e dialogada durante as aulas. Cada tópico tem uma conexão direta ou indireta com o anterior, cuja ordem com a qual eles foram idealizados deve servir como orientação sequenciada de conteúdo.

Sob a orientação do professor, os conhecimentos de física necessários para a compreensão dos conteúdos e da problematização inicial são estudados. Esse momento é alternadamente dividido em dois parâmetros, um deles corresponde ao diálogo; e o outro, à exposição.

A partir do diálogo, iniciamos o conteúdo trazendo umas das questões iniciais, especificamente, a pergunta: “O que é o tempo?”. É recomendado, durante esses primeiros minutos, deixar os alunos interagirem com as suas respostas, trazendo a discussão sobre o uso do relógio e possibilitando ao professor vinculá-lo ao próximo momento, que é a exposição do eixo “O tempo como medida”. Uma recomendação é que essa exposição utilize *slides* desenvolvidos pelo próprio professor, destacando os principais pontos dentro dos seis tópicos temáticos para auxiliar no fluxo da aula.

O tópico 1.1 contextualiza a humanidade quantificando o tempo e é finalizado com uma situação problema que o vincula aos próximos. Em 1.2, elucidamos a interpretação natural que todo ser humano tem em relação ao tempo, neste caso, a intenção é fazer um paralelo com a adoção inconsciente do tempo como absoluto. Este tópico está conectado diretamente com 1.3. Utilizando o recurso de subsunção, iniciamos o tópico 1.3 fazendo um

paralelo entre relativismo para o movimento e repouso em relação a um referencial, considerando que os alunos já tenham visto isso nas séries anteriores. A partir da estrutura cognitiva preexistente, iniciamos a exposição do relativismo moderno para contração do espaço e dilatação do tempo. Baseado na interpretação relativística do que seria o “agora”, o tópico 1.5 elucida a percepção relativística do tempo. O último tópico faz um levantamento de tudo o que foi construído nos anteriores para trazer luz a uma interpretação do tempo como linha contínua que se originou com o espaço no princípio do Universo, e que essa linha se estende muito além do momento presente.

- 1.1 - O tempo como medida
- 1.2 - O tempo na percepção humana
- 1.3 - O tempo para física moderna
- 1.4 - O tempo e a gravidade
- 1.5 - Coexistência do tempo: passado, presente e futuro
- 1.6 - Flecha do tempo

1.1 O tempo como medida

O relógio, de fato, é a primeira coisa que vem às nossas mentes quando pensamos em tempo. É a partir dele que podemos medir, entretanto o tempo começou a ser medido através de outras coisas. Na antiguidade, as pessoas precisavam medir o tempo por vários motivos, por exemplo, para saber o tempo necessário para uma viagem de uma cidade a outra, a pé ou a cavalo, e assim se prevenir de quanto suprimento precisaria ser levado. Outro exemplo seria a agricultura, pois, motivado por essas necessidades, tornou-se possível medir os grandes intervalos de tempo e a partir de calendários prever as épocas da enchente, da semeadura e da colheita, o que originou os nomes das primeiras estações do ano (MARTINS, 2002).

Podemos dizer que o primeiro relógio do mundo é o “dia”, ou seja, a rotação da Terra no seu próprio eixo; em seguida, as estações do ano; e este com a translação. Aqui já podemos perceber que o que precisamos para medir o tempo é de algum movimento repetitivo, cíclico e constante, a partir disso, cada vez mais a medida do tempo foi se aprimorando e, a cada século, foi ficando mais precisa, partindo do relógio solar, passando por relógios mecânicos com muitas engrenagens e que precisavam “da corda” (energia mecânica), até chegar ao século XIX, com a era da eletricidade, com a qual se originou o relógio a pilha. É perceptível que, cada vez que os séculos passam, a medida do tempo vai ficando mais precisa.

Hoje, no século XXI, a hora mais precisa do mundo é medida por um tipo de relógio chamado atômico, como o localizado no NIST.² Neste instituto, horas, minutos, segundos, milissegundos, microssegundos,... até 1×10^{-10} de segundos são contados precisamente. Para ser mais claro, é só lembrar que todos os átomos vibram e, em laboratório, é possível medir essas oscilações. Como já foi dito anteriormente, tudo que é repetitivo pode ser um relógio e é exatamente assim que esse relógio funciona: cada vez que o átomo de Césio-133 oscila 9.192.631.770 de vezes, passa-se um segundo (MARTINS, 2002, p. 43). Assim conseguimos medir o tempo com tanta precisão que, para ter uma ideia, um relógio a pilha comum pode ganhar/perder um ou dois segundos em dois meses; um relógio atômico, como o de césio, perde ou ganha um segundo em cem milhões de anos. É uma precisão incrível! Entretanto, apesar de tanta precisão, medir o tempo não consegue efetivamente nos explicar o que ele é. Afinal, o que estamos medindo exatamente?

² Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia do Colorado, EUA.

1.2 O tempo na percepção humana

Naturalmente temos a percepção de que o tempo é o mesmo para todos, que não faz acepção de pessoas, que flui igualmente para todos e do mesmo jeito. Entendemos que ele é imparcial e imutável (absoluto). Essa percepção vem agregada ao senso comum, inconscientemente todos entendem dessa forma. O pai da mecânica clássica, Isaac Newton (1642-1727), tinha uma interpretação mais aprimorada, provavelmente devido aos seus estudos sempre envolvendo essa grandeza, entretanto não distante da percepção compartilhada pelo senso comum até os dias de hoje (MARTINS, 2002).

O que queremos estabelecer aqui é o fato de que um homem tão dedicado à ciência e aos estudos matemáticos como Newton também tenha essa percepção compartilhada por nós, o que implica que esse entendimento é quase unânime, provavelmente devido a processos irreversíveis que acontecem naturalmente todos os dias, como um simples caso de derrubar o celular no vaso sanitário ou mesmo no chão, trincando a tela em vários pedaços. Por mais que você deseje voltar atrás, naturalmente esse processo é irreversível.

1.3 O tempo na física moderna

Vamos pensar e revisar um pouco sobre os princípios básicos da cinemática – movimento, repouso, posição, deslocamento, tempo e velocidade, etc. Como bem sabemos, no estudo da cinemática, o movimento e o repouso são relativos, isto é, dependendo dos referenciais adotados, uma pessoa pode estar em movimento em relação a um primeiro observador e estar em repouso em relação a um segundo. Vamos pensar nos exemplos clássicos.

Um professor está em sala de aula, os seus alunos estão todos sentados nas suas respectivas cadeiras. Neste caso, para o observador (professor), os alunos estão em movimento ou em repouso? (Momento ideal para dialogar com os alunos). Ainda considerando os alunos, que estão todos sentados nas suas respectivas cadeiras, para um segundo observador, que agora é um astronauta que está em uma suposta base lunar, ao olhar para a Terra, nunca para o seu movimento de translação, o astronauta pode afirmar que esses alunos estão em repouso?

Um segundo caso clássico do relativismo no movimento e repouso é quando estamos andando de ônibus. Quando escolho um lugar para sentar e aguardar o momento de chegar perto do meu ponto de descida, durante o tempo em que eu estiver aguardando sentado, para o motorista que conduz o ônibus, eu estou em repouso, porém para uma pessoa que está na rua pela qual o ônibus passa, nitidamente estou em movimento.

Podemos concluir aqui que o repouso e o movimento são relativos, ou seja, dependem do referencial. Um dos aspectos perceptíveis é que a posição é intimamente ligada ao espaço, pois, quando estou em repouso para algum observador, isso significa que estou ocupando a mesma posição no espaço para este. Porém se estou em movimento, conseqüentemente estou variando a minha posição dentro do espaço. Essa ideia é antiga e vem sendo compartilhada desde Galileu Galilei (século XVI), é totalmente aceitável pela ciência provavelmente porque é fácil perceber essa relação. Outro ponto importante que devemos lembrar é que o movimento acontece quando temos velocidade, pois esta é igual ao espaço percorrido, dividido pelo tempo.

$V = \frac{\Delta S}{\Delta t}$, onde ΔS é o espaço percorrido; Δt é o tempo que passou; V é a velocidade.

No século XIX, Albert Einstein dedicava muito do seu tempo estudando as ondas eletromagnéticas, principalmente as visíveis, conhecidas por nós como luz. No estudo do

movimento dessa entidade, eram aplicados os princípios básicos da cinemática – deslocamento, tempo, velocidade, etc. Um assunto conhecido e tratado rotineiramente pelos físicos, em 1905, era a relação entre os resultados das medidas executadas em diferentes referenciais, envolvendo a luz. Foi nesse ano que Albert Einstein propôs a teoria da relatividade especial (HALLIDAY, 2009, p. 147).

Antes dessa época, a velocidade da luz já tinha sido estabelecida em $C = 299\,792\,458$ m/s, o que ele trouxe de novo foi que a luz tinha velocidade constante, independentemente do referencial adotado, e também era absoluta, ou seja, a sua velocidade foi considerada a maior

já detectada. Se olharmos para o princípio básico de velocidade $V = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, ao considerar V sempre constante, independentemente do espaço percorrido ou do tempo que se passou, considerando um sistema de referencial constante, intuitivamente podemos entender que, pelo menos, uma das outras grandezas, espaço ou tempo, vai ter que variar. Um fato curioso é que, através das equações e transformações manipuladas na física moderna, podemos dizer que foi a “grande sacada” de Albert Einstein, tanto o espaço varia quanto o tempo, como se eles se comunicassem entre si, “quando um der mais, o outro dará menos”, e assim a velocidade da luz permanece sempre constante. Daí surgiu uma nova entidade chamada de espaço-tempo, em que os dois agora estão fundidos, pois, quando o tempo dilata, o espaço se contrai.

Dessa forma, chegamos à conclusão de que não só movimento e repouso são relativos, mas agora, através da física moderna, o tempo também é relativo. Sendo assim, podemos mensurar que o tempo não passa igualmente para todas as pessoas, pois depende do movimento. Um exemplo real disso foi realizado em 1972, em Washington, quando Joseph C. Hafele e o astrônomo Richard E. Keating, munidos de três relógios atômicos, fizeram uma experiência revolucionária, na qual um dos relógios ficou em repouso no solo e os outros dois foram colocados em aviões em alta velocidade em sentidos opostos, enquanto giravam pela Terra. O resultado foi que, quando os dois relógios foram colocados em repouso, lado a lado, e comparados com o relógio que já estava em repouso em Washington, o movimento conseguiu atrasar centenas de nanossegundos, ou seja, o tempo foi dilatado (PESSOA, 2012, p. 1). Isso pode proporcionar uma divergência no conceito do “agora”,³ assim o tempo não passa igual para tudo nem para todos. O principal argumento aqui é que, diferentemente do que imaginamos como viagem no tempo com máquinas de ficção científica, esse experimento joga um relógio no futuro do outro, ou seja, viagem no tempo-futuro é real e já podemos dizer que foi comprovada. Entretanto, como muitas velocidades do mundo macroscópico são muito baixas em relação à velocidade da luz, podemos considerar que estamos praticamente em repouso e, por esse motivo, não percebemos essa dilatação no tempo.

1.4 O tempo e a gravidade

Além de todas as contribuições relativas ao princípio de espaço-tempo, outra grande descoberta de Albert Einstein foi atribuída na inserção aos seus estudos: o princípio de gravitação. Nesse campo de estudo, ele desenvolveu a teoria de relatividade geral.

Nesse contexto, quem mais explora esse postulado é a cosmologia, mais especificamente na gravitação, em estudos sobre buracos negros, estrelas colapsadas com gravidade tão absurdamente alta que conseguem sugar até mesmo a luz. Caso um dia seja possível alguém passar próximo a um buraco negro, no horizonte de eventos, a gravidade será tão alta que o tempo passará absurdamente mais devagar, ou seja, se você ficar próximo a ele por algumas horas, para você, o tempo vai quase parar, mas cada hora lá vai representar anos aqui na Terra. Atualmente, engenheiros e cientistas envolvidos com o Sistema de

³Agora: tempo presente ou percepção instantânea dos fatos; este momento.

Posicionamento Global dos Satélites - NAVSTAR precisam usar a relatividade de forma rotineira, já que o tempo passa mais devagar nos satélites do que na superfície terrestre.

Quem também tem explorado a relatividade são os filmes e séries de ficção científica com temáticas espaciais. Recentemente, um dos mais citados com essa temática é o filme *Interstellar*⁴. Ele teve críticas tanto no âmbito cinematográfico quanto no meio acadêmico, isso porque traz questões interessantes sobre conceitos físicos pouco divulgados entre as pessoas, talvez pela falta de popularização da ciência.

1.5 A coexistência do tempo: passado, presente e futuro

Após as contribuições da física moderna, o entendimento do agora foi “bagunçado”, isso porque, como o tempo é relativo, a minha percepção do “agora” está ligada ao meu movimento e pode ser diferente da sua percepção do “agora”. De fato, quando volto a ficar em repouso em relação a você, os nossos “agora” passam a coincidir. Como podemos então diferenciar o passado e o futuro se estes dependem do movimento? O meu agora pode ser o seu passado, o meu agora pode ser o seu futuro, e o mesmo vale para você, obviamente, dependendo do movimento.

Em linhas gerais, a nossa interpretação de passado, presente e futuro que é compartilhada pelo senso comum, ao que nos parece, pode ser apenas uma ilusão. Normalmente interpretamos o tempo como um rio que flui continuamente, porém ele parece mais como um rio congelado.

Para melhor entender esse aspecto, vamos pensar na nossa passagem pelo espaço-tempo como um filme que foi gravado e pode ser guardado. Nesse caso, podemos imaginar um grande “filme do Universo” que conta a história desde a sua origem até o seu fim; dentro desse “filme”, tudo e todos foram gravados, sendo assim existe dentro dessa “película” o seu nascimento e a sua morte. Assim você é apenas um figurante que vai aparecer em bilionésimos de segundos em relação a todo o “filme do Universo”. Pense como os vídeos no YouTube, que nos permitem visualizar a linha de tempo, a duração e, em determinadas situações, selecionar qualquer momento para assistir. Isto posto, referimo-nos ao movimento interferindo na passagem do tempo, considerando também que, nesse “filme do Universo”, existe um princípio que não permite assistir a ele de trás para frente. Falaremos mais sobre isso no tópico Flecha do tempo.

Mas afinal, por que essa conclusão tão inesperada? Isso se dá pelo próprio pressuposto de relativismo do tempo de Einstein, pois o movimento interfere na sua passagem. Vejamos uma segunda explicação, a partir de um experimento mental:

- Suponhamos que, em uma galáxia a 10 bilhões de anos-luz da Terra, tenha um alienígena em uma nave. Caso ele esteja em repouso em relação a mim, o seu agora corresponde ao meu agora, porém, se esse “carinha” se move em minha direção, como o movimento desacelera a passagem do tempo, o meu agora não corresponde ao agora dele, devido à distância astronômica e ao movimento: ele olhando para mim veria duzentos anos no meu futuro.
- O mais bizarro é que, se ele inverter a direção do movimento, ou seja, a nave se afastar de mim, novamente o meu agora não corresponde ao agora dele, devido à mesma distância astronômica e ao movimento, porém o que ele enxergaria agora corresponderia a acontecimentos que ocorreram há aproximadamente duzentos anos, com Ludwig van Beethoven terminando a quinta sinfonia, escrita entre 1804 e 1808 (GREENE, 2012).

⁴ Com direção de Christopher Nolan e elenco com Matthew Mc Conaughey e Anne Hathaway, de 6 de novembro de 2014 (2h49min).

Uma vez que entendemos que o seu agora pode ser o que eu considero como meu passado, ou que seu agora pode ser o que eu considero como futuro, e seu agora é tão válido quanto o meu, então podemos concluir que o passado tem que ser real, o futuro tem que ser real, significando que passado, presente e futuro são igualmente reais, o que pode ser interpretado como coexistência do tempo (GREENE, 2012).

A partir de tal raciocínio, podemos entender que o passado não foi extinto, que provavelmente ele não deixou de existir e que tudo o que aconteceu dentro dele continua lá, que a impossibilidade de chegar até ele não o extingue. Até esse momento, acreditamos que não enxergamos o tempo como, de fato, ele é, pois faz parte do espaço integralmente, não é meio a meio, eles são partes da mesma grandeza (espaço-tempo). Só enxergando assim para entendê-lo: pense nele como um local, um país, por exemplo; nesse mesmo raciocínio, podemos entendê-lo da seguinte forma, o futuro é um local a que você vai, o passado é um local em que você já esteve e o presente é onde você está agora. Quanto ao local em que você já esteve (passado), é improvável que você volte lá, por conta da lei da entropia.

Obviamente tudo isso faz parte de uma analogia com um intuito puramente pedagógico. Adiante, no tópico Flecha do tempo, exploraremos mais sobre as situações improváveis que nos impedem de voltar para o passado.

1.6 Flecha do tempo

Conseguimos fazer uma verdadeira viagem sobre a concepção do tempo. Vimos que podemos medi-lo com precisão absurda, também percebemos que naturalmente o entendemos como um fluxo e que ir contra esse fluxo é impossível. Entretanto vimos que ele não é estático, nem inerte ou imparcial, pelo contrário, devido às contribuições da física moderna, podemos comprovar que ele é a quarta dimensão do espaço, está conectado com o espaço de tal forma que, quando nos movemos pelo espaço, retardamos a passagem do tempo. Também vimos que até a gravidade pode interferir na passagem dele, devido a experimentos que comprovam essas realidades.

Começamos a perceber que a nossa interpretação do agora é subjetiva e pessoal, que o agora de duas pessoas que estão em movimento podem não coincidir, e mais, a nossa percepção de passado, presente e futuro pode ser uma interpretação humana e limitada, pois como vimos que a passagem do tempo depende do movimento de cada indivíduo, conseqüentemente o que consideramos como agora também depende disso, o agora de uma pessoa pode coincidir com o passado/futuro de outra pessoa apenas porque ambas estão em movimentos distintos e, tanto para uma quanto para a outra, cada agora é real. Assim chegamos à conclusão de que o passado, o presente e o futuro são reais e continuam existindo, o que pode se chamar de coexistência do tempo ou linha do tempo.

Até aqui um grande questionamento ainda não foi respondido: se o passado é tão real quanto o futuro, por que não conseguimos ir até ele? A primeira resposta que pode vir em nossa mente é que deve ser por causa das “leis físicas”, e essa resposta, apesar de parecer muito intuitiva, está errada! As leis físicas não escolhem a direção na qual vão operar. As equações que regem a física podem ser aplicadas tanto para frente quanto para trás, indo ou vindo, enfim, quando queremos inverter a ordem de um fenômeno, simplesmente invertemos o sentido dessa grandeza. Por exemplo: um carro está se afastando de você com uma determinada velocidade, se inverter o sentido dessa velocidade, o carro vai estar se aproximando de você. Simples assim! Outra forma de pensar sobre isso seria soltando uma taça de vinho da mão, ao se chocar contra o chão e se romper em vários pedaços, a única forma pela qual ela poderia voltar à mão seria invertendo o sentido de todas, repito, todas as velocidades de cada caco de vidro e gota de vinho, assim possivelmente voltaria ao seu estado

original. Pois bem, entendemos que as leis físicas não escolhem a direção em nenhum processo natural, então por que não vemos isso acontecendo em direção ao passado?

Essa pergunta é bem antiga, para falar a verdade, ela nasceu um pouco antes do século XX, antes de descobrirmos sobre espaço-tempo, dilatação do tempo, contração do espaço, etc. Na metade do século XIX, os cientistas, engenheiros, matemáticos e inventores estudavam as máquinas térmicas. Do ponto de vista científico, a proliferação de máquina térmica substituindo a mão de obra humana causou o que hoje conhecemos como Revolução Industrial e, neste caso, quanto mais eficiente, econômica, prática, funcional fosse a máquina, mais investimentos ela receberia. Homens de todas as áreas de pesquisa começaram a estudar sobre máquinas térmicas, mas foi no meio acadêmico que, de fato, os estudos foram bem encaminhados, tendo em vista que inventores, apesar de munidos com muita prática experimental, não tinham o domínio técnico-científico. Nesse meio, muitos nomes importantes do âmbito acadêmico contribuíram para tais estudos, como Sadi Carnot, Lord Kelvin, Maxwell, James Joules, Rodolf Clausius, etc. Porém referente à pergunta do último parágrafo, tentando resolver as questões por trás dos processos irreversíveis, ganhou destaque Ludwig Boltzmann (1844-1906), que queria trazer uma explicação analítica (matemática) para fenômenos mecânicos irreversíveis.

Esses fenômenos mecânicos irreversíveis estão muito presentes em nosso cotidiano, como o caso citado anteriormente de derrubar o celular no chão, trincando a tela em vários pedaços: por mais que você deseje voltar atrás, esse erro é irreversível. Para entender melhor essa situação, podemos partir da interpretação de Boltzmann da segunda lei da termodinâmica: o princípio da entropia, que é popularmente conhecida como “medida de desordem” de um sistema. O que percebemos na natureza é que sempre acontece de sistemas com maior energia partirem para outro de menor energia, de sistema mais agregados para um sistema mais desagregado. Vamos tratar de dois casos teóricos para entender melhor:

- I) Uma lata de spray aerossol tem dentro do seu conteúdo gás em alta pressão, e sua liberação está limitada ao volume do recipiente. Se você usar uma espada muito amolada num movimento preciso e rápido para cortar essa lata ao meio, supondo que ela não exploda e os gases do interior passem a perfumar o ambiente, qual seria a probabilidade de que todas as moléculas que agora estão livres voltem espontaneamente para dentro do recipiente?
- II) Suponha que você remova pacientemente a espiral do seu caderno e todas as folhas fiquem livres, elas estarão exatamente na ordem de cada matéria. Ao jogar para cima todas as folhas, que antes estavam em ordem, estas vão se espalhar por todos os lados. Qual a probabilidade de que todas as folhas, ao caírem no chão, vão se organizar exatamente como antes?

Tanto para o caso I quanto para o II, as chances são baixas, isso quer dizer que a entropia é alta. Obviamente estamos usando exemplos mais próximos da nossa realidade interpretativa, entretanto esse conceito surgiu ao estudar máquinas térmicas e trocas de calor, tendência de fenômenos naturais se espalharem espontaneamente, deixando a situação final mais caótica do que a inicial, ou ainda, saindo de um sistema mais complexo para um menos complexo. A definição original veio da explicação para as máquinas térmicas, porém, é aplicável a quaisquer fenômenos naturais irreversíveis.

A conclusão final a que chegamos é que a “desordem” do Universo está sempre aumentando e indo para o máximo, probabilisticamente a entropia aumenta e, por esse motivo, temos a percepção de que alguns fenômenos ocorrem sempre num único sentido. É esse aumento da entropia que direciona a flecha do tempo para apenas um sentido, o qual chamamos de futuro. Analisando os dois casos anteriores, podemos dizer que a probabilidade

de que as moléculas e as páginas do caderno continuem espalhadas é muito maior que a probabilidade de que, nos dois casos, voltem a seu estado anterior, mais organizado. Quando pensamos em todos os fenômenos recorrentes de um dia inteiro e os colocamos nesse raciocínio, imaginar que, para voltar ao dia de ontem, seria necessário que todos os acontecimentos de um dia inteiro voltassem ao seu estado anterior espontaneamente, isso é probabilisticamente improvável.

Lembrando dos dois exemplos mencionados sobre a impossibilidade de rodar o “filme do Universo” – do fim para o começo – ou das questões improváveis que nos impedem de voltar para o local no passado, sustentadas pela lei da entropia, a decadência do Universo tende ao máximo. Aqui cabem dois pontos para finalizar o nosso raciocínio: se a entropia é uma lei física e, como dito, as leis físicas não escolhem direção nem sentido, muito menos passado ou futuro, deveríamos vê-la também aumentar em direção ao passado.

Normalmente vemos um carro novo com o tempo ficar velho, uma pessoa envelhecer, uma pedra por conta da erosão se deteriorar, mas não vemos essas coisas ocorrerem no sentido contrário, então somos forçados a concluir que não estamos olhando do ponto de vista correto, temos que voltar ao início de tudo, antes do carro, das pessoas e das pedras, no início do Universo, antes do espaço-tempo vir a existir. A entropia supõe-se ser zero, no princípio de tudo devia ser perfeito, estável, equilibrado até que, em um segundo instante, a entropia começou a agir e vem aumentando. Outra analogia para enxergar isso é usando nossa ideia do “filme do Universo”: antes de começar a filmar qualquer cena, todos os atores, câmeras, ensaios, diretores, *set* de filmagem, objetos, figurino, roupas, maquiadores, trilha sonora, enfim todos que participam direta ou indiretamente teriam de estar completamente organizados, ou seja, a organização teria de ser perfeita.

O último aspecto do tempo a que chegamos parte da afirmativa constante de que a entropia do universo tende ao máximo, sempre aumenta desde o início. Foi assim que conseguimos entender porque as galáxias estão se afastando, o espaço está expandindo. Esse pequeno entendimento do Universo, que singelamente foi batizado de entropia, nos fez enxergar que o nosso Universo tem um fim, o qual foi batizado pela ciência de “morte térmica do Universo”, isso porque todas as galáxias estão se afastando (expandindo). Logo, um dia, não haverá mais troca de calor, será escuro, inerte e frio. Mas não há necessidade de pânico, as previsões para esse prazo de validade são de centenas de bilhões de anos no futuro.

Terceiro momento pedagógico - Síntese-conteúdo/Autoavaliação

Esta etapa corresponde a mais um momento pedagógico de diálogo, sendo possível abrir um espaço de perguntas e respostas de forma avulsa, sem direcionamento prévio, no qual as dúvidas e os questionamentos dos alunos sejam os condutores. Porém, recomenda-se que deva ser reaplicado o questionário inicial para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram o seu estudo quanto outras que, embora não estejam diretamente ligadas ao momento inicial, possam ser compreendidas pelo mesmo conhecimento. Vale destacar que esse é um momento avaliativo, mas diferentemente de como o termo é utilizado no corpo escolar, recorre sobre a própria sequência didática, o professor e os possíveis impactos que esta possa gerar nos alunos, lembrando que o verdadeiro interesse da sua aplicação é o ensino potencialmente significativo, a emancipação intelectual e a educação direcionada ao saber.