



Viagens no tempo: ficção ou realidade - implicações para o ensino de Física^{1,2}

Cláudio Pires de Mendonça*
José Maurício de Andrade**

Abstract

This work aims at supporting a warning as concerns the pedagogical feature – while considered a motivation – of scientific fiction on the process of teaching and learning Physics. There is no purpose here to offer an enlargement of the theoretical basis which discuss the possibility – or the impossibility – under the Physics perspective, of a non-conventional journey through time.

“São 7 horas da manhã do dia 15 de fevereiro de qualquer ano do século XX em algum lugar do mundo. Ouve-se uma sirene numa escola anunciando o início das aulas do primeiro dia letivo daquele ano. O professor de Física dirige-se para a sala de aula, onde pretende iniciar os alunos em estudos sobre a Física. Cercados de grande expectativa, os alunos recebem o professor com um certo ar de curiosidade. Ele chega, se apresenta, tece algumas considerações sobre os procedimentos didáticos e, em seguida, dispara sucessivas perguntas ... Mas afinal, o que é a

* Professor de Física do Colégio de Aplicação João XXIII da UFJF – Esp. em Física pela UFJF.

** Professor da FACED da UFJF – Mestre em Metodologia do Ensino – Física pela UNICAMP.

1 O texto apresentado constitui parte do projeto de pesquisa: A Física nos filmes de ficção científica: Implicações para o ensino da Física, com auxílio da FAPEMIG.

2 Agradecimento especial ao colega Cláudio Nassif, doutorando em Física pela UFMG, pelas contribuições dadas em algumas discussões.

Física? Para que ela serve? Onde se aplica? Que relações estabelece com o mundo contemporâneo? Para que estudamos Física? O que cada um de vocês trouxe de informações relacionadas à Física?

Ao tentar respondê-las, convida seus alunos a uma *viagem no tempo* para buscar na história momentos e fatos significativos no desenvolvimento desse ramo do conhecimento, quando é interpelado por um aluno com a seguinte questão (provavelmente provocado pela última pergunta do professor):

- Professor, é possível, do ponto de vista da Física, viajar no tempo?"

Este poderia ter sido um momento na vida profissional de qualquer professor de Física, especialmente a partir do sec. XX, quando da publicação da Teoria da Relatividade Especial de Albert Einstein, onde o tempo perde o caráter absoluto, atrela-se ao espaço e tem sua medida dependente da velocidade do sistema de referência ao qual pertence também o observador e seu respectivo relógio.

A resposta ao aluno poderia ser simples: – Você já viu ou ouviu falar de algum viajante do futuro aqui entre nós? Mas essa não é a resposta esperada. A origem da pergunta talvez tenha sido, o que é bem provável, a literatura do gênero *ficção* em que o tema "relatividade do tempo" tem sido muito explorado, sobretudo neste século e que exerce grande fascínio sobre as pessoas, em especial, os adolescentes.

Não se pode descartar também a possibilidade da pergunta ter surgido a partir de conversas informais ou dos filmes de *ficção científica*³ (FC) produzidos e exibidos nas últimas décadas tais como: A Máquina do Tempo (de George Pal e David Dancan, baseado na obra de H.G.Wells – 1895); De volta para o futuro (de Stevens Spielberg e Robert Zemeckis); Contato (de Robert Zemeckis, baseado na obra de Carl Sagan); Meia noite e um (de Jack Sholder); O exterminador do futuro (de James Cameron e Gale Anne Hurd); Em algum lugar do passado (de Richard Matheson); Nimitz (de Tom Taylor); a série O túnel do tempo (de Irwin Hallen); Os 12 macacos (de Terry Gilliam); Jornada nas estrelas – A procura de Spock (de Robert Wise); Fenda no tempo (de Stephen King); O planeta dos macacos (de Paul Dehen e Mort Abrahams); Timecop (de Peter Hyams); Stargate (de Roland Emmerich); Viajantes do futuro (de James Glickenhaus); Assassino do tempo (de Jonathan Heap); Superman (de Richard Lester); Um século em 43 minutos (de Nicolas Meyer, baseado na obra de H.G.Wells) entre outros.

3 O termo pode representar um canal importante de ligação entre as ciências e as artes, entre as ciências exatas e humanas ou seja, entre os vários sistemas organizados de idéias que aparentemente não exercem influência recíproca um sobre os outros, favorecendo a interdisciplinaridade. O que diferencia a FC em relação às outras formas de narrativa é o chamado tempo da história. Segundo Sodré (1972, p.89.) "o significado temporal da FC se exprimiria em dois cronotipos da seguinte espécie: /poderá acontecer/ e /poderia ter acontecido/". Desta forma entendemos que a FC não nos diz nada sobre o futuro, mas sobre o imaginário de hoje.

É interessante notar que a grande maioria dos filmes citados foram exibidos na televisão nos últimos 20 anos, muitos baseados em literaturas produzidas ao longo do sec. XX.

Mas que influência a ficção científica pode despertar em nossos alunos? A identificação e posterior discussão de concepções alternativas sobre o tempo via ficção pode auxiliar na compreensão do conceito formal? Tentando responder a tais perguntas, faremos algumas considerações sobre o tempo, numa abordagem científica não formal⁴ e discutiremos as implicações para o ensino de Física.

1. Olhando o tempo através dos tempos

Uma das imagens mais antigas sobre o tempo advém da Filosofia quando afirma que o tempo é um rio. Tal imagem nos é dada pelos nossos sentidos que nos fazem considerar o tempo como um fluxo contínuo *correndo* sempre num mesmo sentido: do passado para o futuro. No nosso cotidiano podemos considerar o tempo sob dois aspectos: o tempo objetivo e o tempo subjetivo. O tempo objetivo é aquele medido pelos relógios e calendários e que nada mais é do que uma convenção utilizada para facilitar nossa vida na terra. O tempo subjetivo é aquele que passa a existir no nosso interior, em nossa mente, e que *parece* se dilatar ou contrair conforme as nossas emoções (meia hora de espera no hospital quando a esposa está na sala de parto parece uma eternidade, enquanto que alguns dias de férias em uma praia paradisíaca parecem passar voando).

É importante, neste contexto, situarmos a origem semântica da palavra tempo reportando-nos à mitologia Grega onde os deuses do Olimpo representavam a organização do universo, as forças em harmonia e a vida. A palavra tempo origina-se do grego Kronos (Cronos) isto é, o Senhor do Tempo, o Pai do Tempo, o Organizador do Universo. Cronos ajudou sua mãe, Gaia (Terra), a vingar-se de seu pai, Urano (Céu), cortando-lhe os testículos e lançando-os ao mar. A seguir assumiu o poder e casou-se com Rhéa, sua irmã. Na condição de rei dos deuses e senhor do mundo, Cronos sabia que seria destronado por um de seus filhos e, para evitar que isto acontecesse, devora-os ao nascerem. Assim, devorou Hades (Plutão), Poseidon (Netuno), Demeter (Ceres), Hera (Juno) e Hestia (Vesta)⁵. Indignada com a fúria infanticida de seu marido, Rhéa fugiu para ter seu filho em segredo e para ludibriá-lo, embrulhou pedras em pedaços de pano e as deu ao seu esposo que as devorou pensando ter devorado o filho. Foi assim que nasceu Zeus (Júpiter). Já adulto, Zeus destrona o pai, o faz vomitar os filhos que ele havia devorado e assume o poder. Analogamente, o nosso tempo de vida é como o deus Cronos que nos devora e nos consome incessantemente.

4 Sem o rigor das relações matemáticas ou de argumentos quantitativos acadêmicos.

5 Entre parênteses temos a denominação romana correspondente àquela grega.

A filosofia Oriental, ao contrário da filosofia Grega, sempre sustentou que o tempo é uma construção da mente. Na Física Clássica a ordem temporal de dois eventos era tomada como independente de qualquer observador.

A ciência do século XIX e princípio do século XX afirmava o triunfo da razão e da lógica sobre as lendas e superstições excluindo do seu campo de pesquisa aquilo que não era verificável, mensurável e reproduzível em laboratório. A ciência que se colocava numa perspectiva positivista tem, a partir da Teoria da Relatividade, seus próprios fundamentos do pensamento racional questionados.

Os criadores do gênero de FC começaram, nesta mesma época, a utilizar a figura do Psychic Investigator (Marigny, p.123), uma espécie de detetive que se servia de métodos científicos para solucionar mistérios e dar verossimilhança à narrativa.

Embora, *a priori*, a ciência e o irracional⁶ fossem termos inconciliáveis, nesta época houve uma coexistência entre eles para conferir autenticidade aos fatos apresentados. Após as teorias de Einstein os criadores da FC introduziram a narrativa em universos paralelos de “*n*” dimensões onde a razão se perde completamente em função de serem, o espaço e o tempo, noções relativas. Começaram a aparecer as narrativas explorando os paradoxos temporais onde os homens modificavam a cronologia dos acontecimentos criando universos paralelos onde tudo era possível. As narrativas de FC envolvendo paradoxos temporais são aquelas onde as viagens ao futuro ou ao passado modificam o tempo de tal modo que criam relações impossíveis entre o antes e o depois ou entre a causa e o efeito. Estes paradoxos temporais são quebra-cabeças da Lógica que a FC explora exaustivamente.

A relatividade do tempo é contextualizada nas obras de ficção como a possibilidade de seres humanos viajarem no tempo, para o passado ou para o futuro, como se estivessem saindo de um ambiente e entrando em outro, e de um modo geral sem quaisquer consequências físicas ou psicológicas. Essa versão traz concepções alternativas (ou espontâneas) às veiculadas pela ciência sobre a relatividade do tempo, sugerindo possibilidades tecnológicas de construções de “máquinas do tempo”. Não obstante o valor artístico e o caráter visionário da ficção o jovem estudante do ensino fundamental e médio é sensibilizado por tais concepções, ocasionando, de um lado, um súbito interesse pelo assunto e de outro uma dificuldade em se libertar⁷ delas e compreendê-las cientificamente para além da escola.

Não é nosso objetivo aqui aprofundar uma discussão sobre a *Teoria da relatividade*, mas apresentar algumas considerações a respeito das possibilidades e das implicações de se relativizar o tempo, já que esse é o tema central de muitas obras de ficção.

⁶ Irracional entendido como credices, magia, lendas e fábulas.

⁷ Libertar no sentido de se efetuar uma mudança conceitual.

2. É possível viajar numa máquina do tempo?

Ao vermos na TV o Dr. Emmet Brown⁸ entrar em seu automóvel, devidamente equipado com um *capacitor de fluxo*⁹ capaz de fazê-lo ir para o futuro ou mesmo ao passado num piscar de olhos, quantas idéias nos passam pela cabeça sobre que proveito tirar disso? Parece fascinante pensar que tudo que deu errado, pudesse ser “consertado” e vivermos com a perfeição de um Deus por exemplo. A imaginação não encontra limites para o que possa ser feito, alterando o rumo da história.

Quantas histórias não poderiam ser contadas diferentemente, a partir dessa possibilidade? Quantos universos paralelos não estariam coexistindo se viajar ao passado fosse possível aos mortais? É uma lúdica terapia pensar nessa possibilidade e brincar de criar histórias alternativas para os mesmos personagens. Contudo não é o que afirmam muitos físicos e estudiosos do assunto. O próprio Einstein, quem concebeu a relatividade do tempo como consequência de dois únicos postulados em sua *Teoria da Relatividade Especial*¹⁰, afirma que “do ponto de vista dessa teoria, um corpo material não pode ter uma velocidade maior que a da luz”. A velocidade da luz representa o limite superior das velocidades para os corpos materiais. Para que tais corpos se aproximem da velocidade da luz a energia necessária tornar-se-ia infinitamente grande o que, de outra forma, significa dizer que a inércia do corpo tenderia a se tornar infinita, impossibilitando alcançar tal velocidade.

J. C. Maxwell (séc. XIX) previu em seu modelo eletromagnético para a luz que cargas elétricas quando aceleradas, irradiam ondas eletromagnéticas. Se pensarmos desse modo, ao aproximarmos um corpo massivo da velocidade da luz ele irradiará e, no limite, se transformará em energia ou luz.

Observando tais argumentos, como poderia um corpo massivo (ser humano) experimentar efeitos relativísticos a velocidades próximas a da luz? A velocidade limite postulada na Teoria da Relatividade possivelmente será um dificultador na aprendizagem quando a concepção da dilatação temporal puder ocorrer a qualquer velocidade já tiver estabelecida. Esta velocidade limite da Teoria da Relatividade representaria para os cinéfilos um *cognitive constraint*¹¹ que, ao invés de facilitar a aquisição do conceito formal, dificultaria tal aquisição.

8 Personagem do filme **De volta para o futuro**, interpretado pelo ator Christopher Lloyd.

9 Termos como capacitor de fluxo, neutralizadores de inércia, raios tratores, velocidade de dobra (Warp), buracos negros, curva temporal fechada, buracos de minhoca são utilizados em filmes de ficção científica e podem despertar o interesse dos jovens cinéfilos e que, por isso, servem de estímulo para que o professor de física possa provocar uma discussão sobre os fundamentos da física moderna.

10 O primeiro postulado afirma que a velocidade da luz é a mesma em todos os sistemas de coordenadas que se movem uniformemente uns em relação aos outros e o segundo afirma que todas as leis da natureza são as mesmas em todos os sistemas de coordenadas que se movem uniformemente uns em relação aos outros. (Einstein e Infeld, p. 146).

11 Os **Cognitive Constraints** representam uma nova perspectiva, num nível menos fenomenológico, na procura para interpretar as concepções alternativas dos estudantes.

É razoável pensar que algumas obras de ficção encontram respaldo em argumentos utilizados na teoria quântica da gravitação formulada por Hawking na qual a gravidade também afeta o transcórre do tempo, projetando uma topologia para o espaço-tempo capaz de, teoricamente, satisfazer os temponautas (viajantes do tempo). Sobre o assunto é importante ressaltar o que disseram alguns dos mais renomados físicos:

A resultante teoria da relatividade generalizada inclui a gravidade, não como uma força, mas como uma distorção da geometria do espaço-tempo. Nessa teoria, o espaço-tempo não é plano, obedecendo às regras usuais da geometria Euclidiana, mas curvado ou distorcido, fazendo surgir distorções do espaço. (Davies, 1977, p.133-4).

Um observador que se movimenta numa curva tipo-tempo fechada - CTC¹² poderia passar duas, conseqüentemente, infinitas vezes pelo mesmo ponto no espaço-tempo! Ou seja, ao percorrer esta trajetória um observador experimenta o fenômeno de "volta ao passado". Um exame das origens da possibilidade de existência de uma tal curva nessa geometria (geometria de Minkowski) mostra que é a força gravitacional, ao encurvar os cones de luz, a responsável por isto. (Novello, 1997, p.50).

"Num campo gravitacional muito intenso, relativamente àquele onde o observador está situado, o "tempo passa mais devagar" e as dimensões contraem-se do ponto de vista do observador". (Toben e Wolf, p. 41).

Afinal o que seria uma viagem no tempo? Será possível no contexto da Física contemporânea realizar-se uma viagem no tempo? Estas são perguntas instigantes que muitos dos nossos alunos formulam e buscamos nas pesquisas e trabalhos de alguns físicos renomados¹³ tentativas de respostas. O desafio dos físicos tem sido o de determinar se existe fundamentação física que seja capaz de excluir a possibilidade das viagens no tempo que a forma das equações de Einstein da teoria da relatividade geral parecem prever. Se a viagem no tempo for logicamente impossível, poderemos evitar muitos problemas para os físicos, "pois nada pode ser logicamente impossível mas fisicamente possível". (Hanley, 1998, p. 169).

A viagem no tempo é mais do que ir de um tempo para outro. Como você estava aqui há um ano e ainda está, só isso já faz de você um "viajante" do tempo. Há que se discernir a viagem no tempo da viagem não-convencional no

¹² Closed Timelike Curve é uma trajetória que conduz ao passado.

¹³ Entre os físicos renomados podemos citar: Kip Thorne, Steven Weinberg, Sheldon Glashow, Stephen Hawking, Mark Srednichi, Martin Whrite, Chuck Rosenblatt, David Brahm, John A. Wheeler, R. Penrose.

tempo. O que a ficção científica utiliza é a viagem não-convencional no tempo. A verdadeira viagem no tempo é algo fora do comum e certamente o que está envolvido é algum tipo de desvio da passagem pelo tempo das vidas comuns.

A cronologia para o viajante do tempo (temponauta) deve não apenas parecer mas, realmente ser diferente da passagem do tempo externo a ele. Portanto, para que haja uma viagem no tempo, é necessário que o tempo pessoal da viagem seja diferente do tempo externo¹⁴ decorrido. Se minha viagem consome alguns segundos de tempo pessoal e eu chego a 20 anos, por exemplo, adiante em tempo externo, então eu viajei no tempo. Se, por exemplo, eu consigo me colocar em uma situação de hibernação (criogenia) por 40 anos permanecendo todo este tempo “desligado” do mundo e “acordo” 40 anos depois, então eu não viajei no tempo pois o tempo externo e o tempo pessoal são iguais entre si. Segundo Einstein, o que distingue o tempo interno (próprio) do externo é a velocidade relativa entre eles.

Santo Agostinho perguntado sobre o que é o tempo respondeu: “se ninguém me perguntar, eu sei; se o quiser explicar a quem me fizer a pergunta, já não sei”. O tempo da teoria física, o tempo de Einstein, guarda uma pequena semelhança com o tempo subjetivo, aquele que conhecemos mas não sabemos explicar. O tempo de Einstein é cego quanto à distinção entre passado e futuro. Einstein associou o tempo à criação e, por isso, atualmente, a origem do tempo é o big-bang.

Segundo Davies, o tempo tem que ter, na visão conhecida como quadridimensionalista, uma dimensão muito parecida com as dimensões espaciais onde “outros tempos” são como “outros lugares”. “Agora” é igual a “aqui”. Da mesma forma que existe algum outro lugar, muito embora você não esteja lá agora, assim também existe algum outro tempo, muito embora você não esteja lá então. *Outros lugares* estão em *algum outro lugar* e *outros tempos* estão em algum outro *quando*. Os adeptos desta visão aceitam a viagem no tempo como algo possível e até inevitável.

Outra corrente conhecida como *presentismo* vê o tempo como um zíper, onde o presente é representado pela localização do fecho correção do zíper. O passado é a parte já fechada atrás do fecho e o futuro é a parte aberta acima do fecho. O presentismo, considerado como a visão de senso comum do tempo, não deixa espaço para viagens no tempo. Tanto na concepção *quadridimensionalista* como na presentista, existe somente um passado. Na visão *quadridimensionalista* é logicamente possível a viagem ao passado mas não é possível viajar ao passado e alterá-lo. Logo, qualquer história na qual alguém viaje para o passado e o altere, tem um enredo logicamente impossível e, assim, será também fisicamente impossível.

“No nível quântico, o futuro está autenticamente aberto (como o presentismo sugere) mas não existe apenas um caminho para o futuro trilhar. Em vez disso,

¹⁴ O tempo externo seria o tempo medido por qualquer “relógio” que estivesse externo a mim; e o tempo pessoal seria o tempo medido por um “relógio” confiável, dentro do meu crânio.

cada caminho que o futuro pode tomar, é um caminho que ele toma". (Hanley, 1998, p. 180) Assim, toda vez que é feita uma *escolha quântica* são produzidos universos paralelos mas diferentes entre si. No entanto, é importante salientar que, mesmo que houvesse *muitos mundos*, o mundo em que vivemos é único e possui uma única linha do tempo. Neste mundo só há uma maneira de o passado ter ocorrido.

Existe uma grande diferença entre as direções para frente e para trás no tempo em relação ao nosso cotidiano. Não estamos acostumados a ver os cacos de um copo quebrado se reunindo para formar o copo inteiro – a não ser que filmemos a queda do copo e depois projetemos o filme para trás. Isto se deve à segunda Lei da Termodinâmica ao afirmar que, em qualquer sistema fechado, a desordem ou entropia, sempre aumenta com o tempo. No dizer de Hawking, é uma forma da Lei de Murphy onde as coisas sempre tendem a ser mal sucedidas.

O aumento da desordem ou entropia através do tempo é um exemplo do que se chama uma seta do tempo, algo que distingue o passado do futuro, dando a direção do tempo. Primeiro há a seta do tempo termodinâmica que determina a direção do tempo na qual a desordem ou entropia aumenta. Depois há a seta psicológica do tempo que determina a direção em que sentimos o tempo passar, direção em que nos lembramos do passado, mas não do futuro. Finalmente existe a seta cosmológica do tempo, que é a direção do tempo em que o universo se expande mais do que se contraí. (Hawking, 1988, p.201).

A seta psicológica do tempo nada mais é do que o senso subjetivo de direção do tempo e é determinada pela seta termodinâmica do tempo pois devemos nos lembrar das coisas na ordem em que a entropia aumenta. As setas do tempo distinguem o passado do futuro.

Atualmente estamos num patamar de desenvolvimento da ciência (e da Física em particular) onde podemos afirmar que as equações da teoria geral da relatividade não apenas não proíbem diretamente as viagens no tempo mas também as encorajam. Isto implica que, teoricamente, a máquina do tempo existe e, se na prática ainda não temos condições tecnológicas de construí-las, isto não implica que ela seja inviável, pois a história nos mostra que muitas das *ficções* do passado são hoje realidade. Basta nos reportarmos a Leonardo da Vinci quando no século XV *imaginou* aviões, helicópteros e submarinos e hoje tudo isto faz parte do cotidiano de todos nós.

Kurt Gödel, emérito matemático apresentou, trinta anos após o desenvolvimento da relatividade geral, uma solução para as suas equações segundo a qual a viagem no tempo poderia ocorrer. Podemos afirmar que Gödel foi o formulador moderno daquilo que chamamos de viagens não-convencionais no tempo, querendo dizer, com isto, que é possível um retorno ao passado.

Gödel apresentou uma nova geometria para caracterizar a métrica do universo, produzindo um modo de pensar o movimento que a ciência havia relegado ao terreno da imaginação e da ficção científica. Pela solução de Gödel é possível ir e voltar a seu ponto de partida tanto no tempo quanto no espaço. O universo no qual é válida a solução de Gödel não está em expansão mas girando uniformemente em torno de um eixo de rotação local. Como consequência desta nova visão de universo, existe a possibilidade da presença das CTC – Curvas do Tipo-Tempo Fechadas – que é um possível caminho para o passado. Assim sendo, viagem ao passado nada mais é o que um “passeio” através de uma CTC.

Segundo Novello (1997, p. 58) “há, pelo menos, duas possibilidades, em princípio, para realizar efetivamente uma viagem ao passado neste universo de Gödel. No primeiro modo, um foguete carregado com combustível suficiente produziria uma aceleração capaz de induzi-lo a seguir uma CTC. No segundo modo, poder-se-ia imaginar uma sonda acoplada a uma nave-mãe que, do exterior, criaria condições para manter um campo magnético convenientemente forte para que um corpo eletricamente não neutro, que dela saísse, pudesse ter acesso à curva CTC.

Vale salientar que os físicos não devem se preocupar com o que é prático e o que não é, mas sim com o que é possível e o que não é e, pelas soluções apresentadas por Gödel teoricamente, é possível a volta ao passado, embora impraticável!

No final da década passada, o físico Kip Thorne, do Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), demonstrou a possibilidade da existência dos WORMHOLES (buracos de minhoca) o que é o prenúncio de uma futura máquina do tempo. Os **wormholes** são uma espécie de túnel que a teoria da física atual “permite” existir funcionando como um atalho cósmico ligando pontos muito distantes do universo com uma enorme economia de tempo. Se as extremidades dos **wormhole** pudessem se deslocar para pontos pré-estabelecidos, seria possível atravessar o túnel dando *saltos* não só no espaço mas também no tempo. Buracos de minhoca estáveis requerem matéria exótica com energia negativa.

A mecânica quântica, quando combinada com a relatividade especial, implica que, pelo menos em escalas microscópicas, a distribuição local de energia pode ser negativa. A questão chave que permanece até os dias de hoje sem resposta é se as leis da física permitirão que a matéria tenha essa propriedade em escalas macroscópicas.

Deve-se ao físico John A. Wheeler a criação do termo **wormhole** que nada mais é do que a *ponte de conexão* ou a *ponte de Einstein-Rosen*, ou seja, uma configuração gerada pela força gravitacional. A ponte de *Einstein-Rosen* seria capaz de conectar duas regiões longínquas de um mesmo universo? A resposta teórica é afirmativa. Segundo Novello (1997, p.81) “a ponte de Einstein-Rosen é uma solução das equações da teoria da relatividade geral” e “é possível conectar as duas regiões assintoticamente planas que ela possui, através de uma ponte atravessável”. As pontes de Einstein-Rosen seriam configurações permitidas pelas leis da física mas ainda não disponíveis em nosso universo.

As estruturas da máquina de Gödel e a ponte de Einstein-Rosen, constituem exemplos claros e acordados com as leis físicas conhecidas, permitindo, ao nível teórico, realizar a experiência de volta ao passado.

É importante ressaltar o fato de que foi uma obra de ficção científica que motivou um amplo programa de pesquisas sobre a possibilidade de viagem pelo tempo. Trata-se da obra de Carl Sagan intitulada *Contato* onde seres alienígenas enviam mensagens para a Terra orientando a construção de uma máquina que permite a viagem pelo tempo. Carl Sagan contou com a assessoria de seu amigo Kip Thorne que juntamente com seus colegas do Caltech iniciou uma ampla pesquisa sobre o assunto.

Sabe-se que a gravidade consegue também retardar o tempo. Na verdade, sem saber, somos todos viajantes do tempo em um grau limitado, devido à gravidade da terra. Neste sentido, a viagem pelo tempo é uma realidade, podendo ser observada por qualquer curioso em um laboratório de física bem equipado. A teoria da relatividade especial proíbe a matéria comum de viajar ao passado, enquanto que a teoria da relatividade geral é *vaga* quanto ao assunto.

Após a publicação da teoria de Einstein, Hermann Weyl observou que a linha do mundo de uma pessoa poderia dar uma volta e cruzar consigo mesma. Weyl sabia que localmente uma partícula jamais poderia ultrapassar a velocidade da luz mas que globalmente seu futuro poderia se conectar com o seu passado bastando para isto um campo gravitacional forte o bastante para que a curvatura do espaço-tempo seja tal que permita interligar um espaço-tempo consigo mesmo.

Uma nova solução das equações de campo gravitacional de Einstein apresentada em 1949 por Kurt Gödel demonstrou, inequivocamente, que não há nada dentro da teoria da relatividade geral que proíba uma partícula de matéria atingir o passado e retornar ao futuro.

A pressão também é uma fonte de gravitação e isto pode ser demonstrado pela relatividade geral. Como a pressão pode atuar de *dentro para fora* e de *fora para dentro* pode-se conjecturar a possibilidade da existência de pressão negativa criando a antigravidade responsável pela repulsão entre as massas. Ter-se-ia, assim, a antigravidade quântica o que permitiu a Kip Thorne *resolver* o problema da manutenção da abertura do *túnel* formado pelo buraco negro.

O matemático Roy Kerr estudando, matematicamente, os buracos negros, acabou por propor uma solução das equações de Einstein da relatividade geral que correspondia a um buraco negro em rotação.

Segundo esta nova solução, uma partícula material poderia cair no buraco negro e *escapar* da singularidade¹⁵, ou seja, da destruição total. Teoricamente isto representa uma nova possibilidade de viagem pelo tempo.

¹⁵ Singularidade em matemática representa um ponto que não pode ser descrito por uma função contínua. Singularidade no contexto do presente trabalho é um ponto no qual o espaço-tempo se curva infinitamente e chega a um fim. A teoria clássica da relatividade geral prevê que este fenômeno ocorre, porém não pode descrever como se comporta, porque ao chegar a este ponto suas leis já não funcionam.

Segundo Davies (1997, p.326), o físico Frank Tipler descobriu, em 1974, uma outra solução para a viagem pelo tempo ao propor a rotação a altas velocidades de um cilindro infinitamente longo. O modelo de Tipler não possui singularidades e, por isso, parece ligeiramente mais físico do que o exemplo de Kerr. Um problema a ser solucionado pelos físicos para tornar a máquina de Tipler possível é quanto à velocidade de giro do cilindro que deverá ser muitíssimo alta arriscando a que o viajante do tempo seja destruído pelas forças centrífugas. Além disso, temos o fato da exigência do cilindro ser infinitamente longo o que pode levar a máquina de Tipler para o reino da ficção.

Uma outra possibilidade de máquina do tempo está ligada à existência de objetos conhecidos como *cordas cósmicas* e foi proposta por Richard Gott da Universidade de Princeton. Segundo ele, após o big-bang, os diferentes campos quânticos presentes se amarraram em nós e cordas de modo a produzir tubos finíssimos de energia de campo concentrada. "Estes tubos e cordas cósmicas não conseguem se desfazer facilmente e estariam congeladas como relíquias". (Davies, p.331). Gott descobriu que se duas cordas cósmicas, paralelas e infinitamente longas se afastarem à velocidade alta, os cones de luz virarão a ponto de permitir que linhas do mundo de partículas dêem uma volta retornando ao passado.

Retratamos aqui o pensamento científico a respeito das viagens no tempo. Sem tomarmos partido desse ou daquele pensamento, queremos lembrar ainda de uma das mais universais Leis da Física: a Segunda Lei da Termodinâmica. De uma forma mais generalizada, esta lei estabelece que, no decorrer do tempo, a desordem do universo aumenta. Há uma seta do tempo, inexorável que aponta para o caos. Se toda atividade natural, medida através de padrões adequados, produz mais desordem, então o mundo tem que mudar irreversivelmente, uma vez que, restaurar o universo à condição em que estava *ontem* significaria, de alguma forma, reduzir a desordem ao nível que estava previamente, o que contradiz a Segunda Lei da Termodinâmica.

Parece ainda não haver uma teoria física onde se permita entrelaçar a idéia da seta do tempo (irreversibilidade) de caráter subjetivo (psicológico \equiv passado \rightarrow presente \rightarrow futuro) com a reversibilidade do tempo (simetria) nas equações da mecânica (clássica, quântica e relativística). Por enquanto, do ponto de vista físico, a Segunda Lei da Termodinâmica (crescimento da entropia) é ainda a única Lei que dá consistência à irreversibilidade temporal, embora seja ainda fenomenológica e macroscópica. Portanto, o grande desafio seria o de incorporar algum elemento de irreversibilidade (assimetria) temporal nas equações da dinâmica microscópica com a termodinâmica. A mecânica estatística se propõe a obter irreversibilidade com um número N muito grande de partículas, obtendo médias, de maneira a fazer a *seta do tempo* brotar do somatório de elementos microscópicos; no entanto, ainda, no fundo a irreversibilidade não passaria, pois, de uma ilusão estatística, permanecendo a realidade *real* microscópica ainda irreversível.

Assim, já que a teoria clássica da Relatividade Geral não contém a distinção (assimetria) no tempo futuro e passado, ou seja, não contém a seta do tempo



(irreversibilidade) então, torna-se notório a possibilidade de *viagem no tempo* segundo esta teoria. Contudo, a questão da seta do tempo poderia se tornar real numa possível *Teoria de Gravitação Quântica Genuína* ainda não encontrada. Se isto for verdade, então a Relatividade Geral poderia ser apenas uma aproximação de uma teoria de gravidade quântica, de tal maneira que a idéia de seta do tempo perderia o sentido ao nível clássico da gravidade como mera descrição geométrica do espaço-tempo.

Em suma, se realmente uma gravidade quântica genuína introduz um elemento de assimetria no tempo, compatibilizando-se com a Segunda Lei da Termodinâmica, deveríamos abandonar a idéia de viagem no tempo dentro do nosso universo que passaria a ter uma história única da evolução da nossa consciência (existência) e da evolução dos sistemas físicos (entropia).

Voltar ao passado portanto implica ao menos desse ponto de vista, violar uma das mais consagradas leis da natureza, o que por outro lado, não seria impossível, desde que estivéssemos diante de um novo paradigma. O que sabemos até o presente momento é que não existe nos domínios da Física nada que possibilite, tecnologicamente, viagens ao passado ou ao futuro distante e também nada que implacavelmente as tornem impossíveis.

Quando H. G. Wells escreveu a obra de ficção intitulada *A máquina do tempo*, em meados do século XIX, as noções de tempo eram as da física clássica, isto é, o tempo era absoluto uma vez que Einstein não havia, ainda, formulado sua *Teoria da Relatividade Especial* o que trouxe um novo paradigma sobre o tempo. Quem sabe não teria sido a ficção de Wells um dos livros de cabeceira de Einstein?

O exame de máquinas do tempo que permitiriam viagens não-convencionais, tais como o retorno ao passado, deixou de ser um tema tabu para a comunidade científica e se constitui hoje num problema onde uma intensa atividade teórica vem sendo desenvolvida. Contudo há uma questão que certamente se confronta com qualquer possibilidade de viagem no tempo e que deve passar pelo crivo de quem lê ou assiste a obras de ficção com o tema em questão: são os *paradoxos*, alvos de um interessante debate em aula.

3. Os paradoxos nas “viagens no tempo”

“Quem leu criticamente *A Máquina do Tempo* ou assistiu ao filme *De Volta para o Futuro* deve ter observado que a viagem no passado, ou mesmo a possibilidade de sinalizar ao passado, abre uma caixa de Pandora¹⁶ de enigmas

16 N. A. Na mitologia grega, Pandora foi a primeira mulher criada por Hefesto, por ordem de Zeus. Atena, deusa da sabedoria, deu-lhe a vida e dotou-a de todas as graças e todos os talentos. Zeus deu-lhe uma caixa onde estavam encerrados todos os males. Pandora veio habitar a terra e casou-se com Epimeteu, o primeiro homem que abriu a caixa fatal e todos os males se espalharam pelo mundo. No fundo da caixa só ficou a esperança. Caixa de Pandora, diz-se figuradamente do que, sob a aparência de encanto ou beleza, é ou pode ser uma fonte de calamidades. (Dicionário Prático Ilustrado, 1964, p.1796).

e paradoxos". (Davies, 1999, p.331-2). Os paradoxos representam situações conflitantes ocasionadas pelas viagens no tempo, nas quais princípios mais fundamentais como o de causa e efeito são violados. Um exemplo de paradoxo é aquele, mostrado em algumas obras de ficção, em que o temponauta encontra-se consigo mesmo no passado ou no futuro; um outro seria o de impedir o casamento de seus avós no passado caracterizando uma existência injustificada ou um efeito sem causa. Richard Feynman propôs uma forma de se evitar este tipo de paradoxo criando o conceito da soma de todas as histórias possíveis de um sistema. Nesta concepção, um sistema não teria apenas uma história no espaço-tempo mas todas as histórias possíveis.

Pode-se invocar a idéia de vários universos paralelos onde existiriam *cópias* tipo clones de tudo que existe no nosso universo. Assim, seria possível ao temponauta voltar ao passado num desses universos e assassinar a sua avó sem que isto provoque alterações no futuro do universo de onde ele saiu. Consegue-se, assim, uma maneira teórica de se driblar o paradoxo da avó. Por esta solução, seria possível misturar e combinar mundos quânticos numa escala macroscópica possibilitando ao temponauta passar para um universo paralelo ao que ele vivia e retornar após ter alterado a realidade daquele universo.

"Sem a viagem no tempo, frações diferentes de uma pessoa nunca se encontrariam, porque cada uma permanece em um intervalo de tempo diferente". (Hanley, 1998, p.185) Com a viagem no tempo, torna-se possível que frações da mesma pessoa permaneçam no mesmo intervalo de tempo e que outras frações estejam em lugares diferentes ao mesmo tempo, ocasionando o encontro entre elas. A nossa fração de pessoa estar em dois lugares diferentes ao mesmo tempo é impossível. A mesma pessoa estar em parte em dois lugares diferentes ao mesmo tempo é possível pois tem partes temporais diferentes em cada lugar. Como exemplo seria como se uma pessoa estivesse numa fronteira delimitada por uma linha e mantivesse um dos pés de um lado da fronteira e o outro pé do outro lado da fronteira no mesmo momento. Ela estaria parcialmente em dois lugares diferentes ao mesmo tempo uma vez que teria frações espaciais diferentes em cada lado.

O senso-comum é, sem dúvida, o maior entrave às soluções dos paradoxos provocados pelas viagens no tempo pois estamos acostumados a identificar a passagem do tempo como um rio que flui sempre num mesmo sentido e, com esta concepção, torna-se inviável retornarmos no tempo e encontrarmos nós mesmos no passado. Os paradoxos que podem ser provocados pela viagem no tempo só acontecem devido ao fato de que o estado atual do mundo ser determinado pelo o que aconteceu no passado. Qualquer alteração que se promova no passado ocasionará efeitos que se propagarão fazendo com que haja um entrelaçamento com a tessitura do presente. É importante observar-se que, por mais cuidadoso que seja o temponauta, ainda assim ele provocará alterações na entropia que provocarão distorções futuras. Mesmo que o temponauta se torne invisível, ainda assim, haverá alterações na *energia local* provocando um aumento na entropia.

Segundo Davies (*op. cit.*), uma maneira de se contornar os paradoxos causados pela viagem ao passado seria fazer com que os circuitos causais sejam auto consistentes ou seja, as ações do temponauta já deverão estar incorporadas à rede determinista que liga o passado ao presente.

4. Implicações para o ensino de Física

Tentar enxergar a ciência que dá suporte a uma determinada cena de uma obra de ficção ou procurar possíveis incorreções quanto ao formalismo científico, também pode ser um bom entretenimento. Segundo Krauss (1996) um filme de ficção científica pode levar o cinéfilo “de Newton a Hawking e de Einstein a Feynman, mostrando o mundo da física tal como o conhecemos e tal como um dia poderá ser”. Desta forma, parece-nos bastante plausível a utilização dos filmes de ficção científica como um aliado no processo de ensino da física. Além disso, o professor pode identificar possíveis concepções alternativas na fala e no modo de agir dos alunos, comparando-as com aquelas apresentadas nos filmes, como a concepção de tempo por exemplo. Ao considerar o tempo, tal como os gregos, com o um rio que corre sempre e inexoravelmente em um determinado sentido, os alunos poderão sentir dificuldade em assimilar o caráter não absolutista do tempo, considerado no filme. Neste caso, os filmes estarão se prestando como estratégia para se conseguir a mudança conceitual dos alunos.

Na prática do professor de Física, os filmes de ficção, além de bons motivadores, se constituem em excelentes *provocadores* para incursões na ciência formal. Fenômenos passíveis de verificação experimental podem se revelar como atividades motivadoras para o despertar de uma visão crítica a respeito da ciência, mais particularmente a Física. Ao tentar buscar respostas nas investigações poder-se-ia produzir rupturas com o conhecimento não formal, aprimorar links cognitivos, libertar-se das concepções alternativas, refletir enfim sobre o papel da própria ficção, sobretudo num momento em que o estímulo visual é muito forte.

O aperfeiçoamento da informática tornou possível a obtenção de *efeitos especiais* capazes de elevar o nível de produção dos filmes de ficção, prendendo a atenção do espectador e enriquecendo o estímulo visual, o que a escola convencional não consegue e nem dispõe de recursos para realizar. Será que algum dia conseguirá? Enquanto não consegue, aplausos para Hollywood e seus magníficos cineastas por nos proporcionar entretenimento e oportunidades de investigação em ensino e aprendizagem.

Reportando-nos à pergunta feita pelo aluno inicialmente, verificamos que uma resposta mais completa, no âmbito da ciência, também não deve ser a esperada, pois não há evidências absolutas sobre o *sim* nem sobre o *não*. Entretanto, valorizar a pergunta é uma boa oportunidade de explorar outras curiosidades no campo da ciência formal, via ficção, e utilizarmos a máquina virtual do tempo, fonte de todo poder criativo dos seres humanos, inclusive a

própria ficção, que é a *imaginação*. Nas palavras de Einstein “a imaginação é mais importante que o conhecimento” (Klein, p.137) . Com ela, sim, pode-se ir a qualquer local do espaço-tempo, sem restrições, paradoxos ou qualquer ameaça a consagradas leis da natureza e estimular nosso curioso aluno a pensar mais do que como seria a vida se existissem máquinas do tempo, ou seja, que valores seriam indispensáveis para essa prática, por que fazê-la, e, finalmente, que sentido dar ao presente se ele é tudo que concretamente existe, ainda que por apenas um instante?

Referências Bibliográficas

- CALDER, N. *O universo de Einstein*. Trad. Leonid Kipman. 2 ed. Brasília: Editora UNB, 1980. 174p.
- CAPRA, F. *O tao da física*. Um paralelo entre a Física moderna e o Misticismo Oriental. Trad. José Fernandes Dias. São Paulo: Editora Cultrix, 1983. 274p.
- COHEN, T. *et al. Quantum mechanics*. New York: A Wiley Interscience Publication, 1977. v. 1
- CORDOZ, A. *et al. A ciência e o imaginário*. Centre de Recherche seur L'imaginaire. Obra coletiva. Trad. Ivo Martinazzo. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1994.
- DAVIES, P. *O enigma do tempo*. A Revolução iniciada por Einstein. Trad. Ivo Korytowski. Rio de Janeiro: Ediouro, 1999. 413p.
- DICIONÁRIO Prático Ilustrado. Porto: Lello & Irmão Editores, 1964, p. 1796.
- EINSTEIN, A e INFELD, L. *A evolução da física*. Trad. Giasone Rebuá. 3 ed. Rio de Janeiro: ZAHAR Editores, 1976. 237p.
- FEYNMAN, R. P. *Física em seis lições*. Trad. Ivo Korytowski. 2 ed. Rio de Janeiro: Ediouro, 1999.
- _____. *et al. The feynman lecture on physics*. Reading Mass. Addison – Wesley: 1965. v. 1 a 4.
- GILMORE, R. *Alice no país do quantum*. Trad. André Penido. Rio de Janeiro: Zahar, 1998.
- GÖDEL, K. An Example of a New Type of Cosmological Solution of Einstein's Field Equations of Gravitation. *Reviews of Modern Physics*, v. 21, n. 1949, p.447.
- GRIBBIN, J. *No início*. Antes e depois do Big Bang. Trad. Adir M. Luiz. Rio de Janeiro: Campus, 1995. 276p.
- HANLEY, R. *A metafísica de jornada nas estrelas*. Star Trek. Trad. Brasil Ramos Fernandes. São Paulo: MAKRON Books, 1998. 221 p.
- HAWKING, S. W. *Uma breve história do tempo*. Do Big Bang aos Buracos Negros. Trad. Maria Helena Torres. Rio de Janeiro: Rocco, 1988. 262p

- _____. *Buracos negros, universos bebês e outros ensaios*. Trad. Maria Luiza X. de A Borges. Rio de Janeiro: Rocco, 1995. 144p.
- _____. PENROSE, R. *A natureza do espaço e do tempo*. Trad. Alberto Luiz da Rocha Barros. Campinas, SP: Papirus, 1997
- KLEIN, Étienne. *Diálogos com a esfinge* (os paradócos em física). Lisboa: Instituto Piaget, 1994.
- KRAUSS, L. M. *A física de jornadas nas estrelas*. Star Trek. Trad. Eduardo Teixeira Nunes. São Paulo: MAKRON Books, 1996. 151p.
- _____. *Sem medo da física*. Um guia para você não ficar perdido no espaço. Trad. Luiz Euclides Trindade Frazão Filho. Rio de Janeiro: Campus, 1995. 208p.
- NOVELLO, M. *O círculo do tempo*. Um olhar científico sobre viagens não-convencionais no tempo. Rio de Janeiro: Campus, 1997. 160p.
- PENROSE, R. *A mente nova do rei*. São Paulo: Editora Campus, 1997.
- PEREIRA Jr. *A irreversibilidade física e ordem temporal*. Na Tradição Boltzmanniana. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1997. 179p.
- RESNICK, R. *Introdução à relatividade especial*. Trad. Shigeo Watanabe. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo e Editora Polígono, 1971. 167p.
- RUSSEL, B. *O abc da relatividade*. 4 ed. Trad. Giasone Rebuá. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1974. 203p.
- SODRÉ, Muniz. Ficção científica – uma conotação do tempo. *Tempo Brasileiro*. Rio de Janeiro, n. 29, p 89-95, abr./jun. 1972.
- THORNE, K. S. *Black holes and time warps*. Nova York: Norton, 1994.
- TIPLER, F. J. Rotating cylinders and the possibility of global causality violation. *Physical Review D*, v. 9, p. 2203, 1974.
- WILL, C. M. *Einstein estava certo?* Trad. Mary Grace Figueira Perpétuo. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1996. 279p.