



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE
FÍSICA - LICENCIATURA

LARISSA FERREIRA DE ALMEIDA

**O PRINCÍPIO DE FERMAT A PARTIR DA ÓTICA ALINÍGENA: A LITERATURA
DE FICÇÃO CIENTÍFICA COMO PONTE PARA O CONCEITO DE MÍNIMA AÇÃO**

Caruaru
2019

LARISSA FERREIRA DE ALMEIDA

O PRINCÍPIO DE FERMAT A PARTIR DA ÓTICA ALIENÍGENA: A LITERATURA DE FICÇÃO CIENTÍFICA COMO PONTE PARA O CONCEITO DE MÍNIMA AÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Física – Licenciatura da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciada em Física.

Área de concentração: Ensino de Física

Orientador: Prof^o. Dr. João Eduardo Fernandes Ramos

Caruaru

2019

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 – 1242

A447p Almeida, Larissa Ferreira de.
O princípio de Fermat a partir da ótica alienígena: a literatura de ficção científica como ponte para o conceito de mínima ação. / Larissa Ferreira de Almeida. - 2020.
42 f. ; il.: 30 cm.

Orientador: João Eduardo Fernandes Ramos.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Licenciatura em Física, 2020.
Inclui Referências.

1. Literatura. 2. Ficção científica. 3. Física – Estudo e ensino. I. Ramos, João Eduardo Fernandes (Orientador). II. Título.

CDD 371.12 (23. ed.)

UFPE (CAA 2020-021)

LARISSA FERREIRA DE ALMEIDA

O PRINCÍPIO DE FERMAT A PARTIR DA ÓTICA ALIENÍGENA: A LITERATURA DE FICÇÃO CIENTÍFICA COMO PONTE PARA O CONCEITO DE MÍNIMA AÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Física-Licenciatura da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de licenciada em Física.

Aprovada em: 19/02/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof^o. Dr. João Eduardo Fernandes Ramos (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco/NFD

Prof^o. Dr. Ernesto Arcenio Valdes Rodriguez (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco/NFD

Prof^a. Dr. Paulo Henrique Ribeiro Peixoto (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco/NFD

Dedico este trabalho aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Queria agradecer primeiramente a Jeová que sempre me deu forças para conseguir seguir em frente.

Aos meus pais, que me deram total apoio; meu pai, que sempre fez questão de me fazer acreditar que o mundo é meu, e minha mãe, por sempre demonstrar ternura e muita paciência com meus “aperreios” com os estudos. Nenhuma palavra conseguiria descrever a minha eterna gratidão a vocês. Às minhas irmãs Bruna e Aline, que toda vez que não consegui acreditar em mim, me mostravam o quanto já havia conquistado até ali e me guiavam para um caminho para ser mais resiliente.

O melhor presente que a UFPE me deu com certeza foram as amizades que construí durante a graduação. Bruno e Kaíque, obrigada por sempre me escutarem e me ajudarem. Boni, sei que a nossa amizade é verdadeira, pois ela sobreviveu até o final da disciplina de Laboratório de Física Moderna. Jackson, Carlos, Luciano, Nieliton, Elton, obrigada por fazerem a caminhada parecer ser mais leve. Vou levar cada um de vocês dentro de mim de alguma forma. E tantas outras pessoas que conheci com diferentes ideais dos meus, mas que só me fizeram crescer e aprender cada vez mais. É clichê, mas “diante da vastidão do tempo e da imensidão do universo, é um imenso prazer para mim dividir um planeta e uma época com vocês.”
(Carl Sagan)

Agradeço a todos os professores(as) que tive durante a graduação. Acredito que cada um de alguma maneira me marcou, além do conhecimento para minha formação profissional, como também pessoal. Em especial ao meu orientador, o professor Dr. João Eduardo, sou muito grata pela inspiração, todos os conselhos e a paciência para a realização deste trabalho, e por me fazer enxergar que a ciência é arte. À professora Elizabeth Lacerda, ou melhor “titia” Beth, por lecionar de maneira excelente Cálculo III e EDO, me fez me apaixonar ainda mais pelo cálculo e por sempre demonstrar seu lado gentil dentro da sala de aula. Ao professor Dr. Gustavo Camelo, que ao ministrar a disciplina de Mecânica Clássica com sua arte de ensino, me fez lembrar por que escolhi fazer física. Também queria agradecer ao Professor Dr. Luis Leão, que foi meu orientador de IC, mesmo que por pouco tempo; foi um prazer ter a oportunidade de conhecer ele mais de perto, me ajudou com conselhos e dicas com relação à minha carreira profissional.

Às vezes, a ciência é mais arte que ciência (Rick e Morty).

RESUMO

Nos dias atuais, a ficção científica vem ganhando um grande espaço entre as mídias e explorando os conceitos das ciências, se tornando, assim, mais atrativo a todo tipo de pessoa. A educação em suas múltiplas facetas, também, vem se inovando cada vez mais. Portanto, temos como objetivo fazer uma proposta de como um docente de física pode utilizar a literatura de ficção científica como ferramenta para o ensino dentro da sala de aula, quebrando assim, o paradigma ainda persistente sobre a distinção entre física e literatura. Mostra-se que “todo professor, independente da sua disciplina também é um professor de leitura” (SILVA, 1998, p. 125). O conto escolhido foi *História da sua vida* do autor Ted Chiang. Além de temas de ficções científicas como alienígenas, naves, contexto relativo sobre o tempo, também é abordado o conceito físico do princípio de Fermat, mostrando que ele é um princípio variacional. Contendo até mesmo questões filosóficas que ocorreram no contexto histórico da ciência e que são pertinentes até os dias atuais. Com base nas três esferas descritas por Piassi (2001, p.76), primeiro analisamos e relacionamos os conceitos científicos, em que observamos o conceito do princípio variacional. Segundamente foram os processos históricos, ou seja, as questões filosóficas discutidas no enredo sobre o que alguns cientistas falaram no decorrer da história da ciência, sobre o conceito do princípio de mínima ação da natureza. E em terceiro, extraímos de como isso se dá dentro do contexto da sociedade, ou seja, o impacto que o uso da ciência é capaz de influenciar a humanidade no geral. No enredo, há questões relevantes sobre a ciência com relação a vida pessoal dos personagens. Concluímos que a ciência não se deduz apenas aos aspectos cognitivos e intelectuais da matemática e da física sendo aplicada em tecnologias, mas também de como ela se introduz na vida humana como um todo na sociedade. Trazendo, assim, uma educação mais crítica e reflexiva para dentro da sala de aula.

Palavras-chave: Literatura. Ficção científica. Princípio de Fermat. Princípio variacional.

ABSTRACT

Nowadays, science fiction has been gaining a large space between media and exploring the concepts of science, thus becoming more attractive to every type of person. Education in its multiple facets, too, has been increasingly innovating. Therefore, we aim to make a proposal of how a physics teacher can use science fiction literature as a tool for teaching within the classroom, thus breaking the still persistent paradigm on the distinction between physics and Literature. It is shown that "every teacher, regardless of his discipline is also a reading teacher" (SILVA, 1998, p. 125). The chosen tale was history of his life by author Ted Chiang. In addition to themes of scientific fictions such as aliens, ships, relative context over time, is also addressed the physical concept of Fermat principle, showing that it is a varying principle. Even containing philosophical questions that occurred in the historical context of science and that are pertinent to the present day. Based on the three spheres described by Piassi (2001, p.76), we first analyzed and related the scientific concepts, in which we observed the concept of the variational principle. Secondly it was the historical processes, that is, the philosophical questions discussed in the plot about what some scientists spoke in the course of the history of science, about the concept of the principle of minimal action of nature. And third, we draw from how this occurs within the context of society, that is, the impact that the use of science is capable of influencing humanity in general. In the plot, there are relevant questions about science regarding the personal life of the characters. We conclude that science is not only deduced by the cognitive and intellectual aspects of mathematics and physics being applied in technologies, but also how it introduces itself into human life as a whole in society. Thus, bringing a more critical and reflective education into the classroom.

Keywords: Literature. Science fiction. Fermat principle. Varying principle.

SUMÁRIO

1	Introdução	10
2	Física e literatura	12
2.1	A literatura na sala de aula	12
2.2	A ficção científica	14
3	O princípio variacional e o princípio de Fermat	17
3.1	Abordagem histórica do Princípio variacional	17
3.2	Princípio variacional	20
3.3	Reflexão e refração	22
3.4	O princípio de Fermat	24
4	O conto: História da sua vida	29
4.1	Análise do conto: História da sua vida	30
5	Uma proposta do conto na sala de aula	38
6	Considerações finais	40
	Referências.....	41

1 Introdução

A física apresenta uma variedade de ramos, com o objetivo de a partir de modelos, chegar o mais próximo possível de uma explicação para a maneira que a natureza se comporta. Para isso uma das ferramentas mais utilizadas na física é a matemática, onde faz com que utilizemos diversas deduções de fórmulas e equações. O que por muitas vezes pode não ser muito atrativo para o aluno, portanto, é importante que o docente saiba inovar no ensino, procurando ferramentas que o auxiliem que possam ser atrativas. No presente trabalho iremos propor o uso da literatura de ficção científica como ferramenta didática dentro da sala de aula. Física e literatura, aparentemente podem parecer ser dois abismos, mas conforme o contexto social em que vivemos nos dias atuais já não deviam mais ser vistas como duas coisas tão distintas, visto que a divulgação científica se dá de várias formas, e uma delas é por meio da literatura de ficção científica, como diz Zanetic (2006). É claro que devemos pensar e pesquisar de maneira isolada suas especificidades, visto que há os que preferem somente uma delas, mas se juntarmos as duas só temos benefícios, já que o impacto que hoje as ciências exatas causa no mundo devido a sua grande aplicação em novas tecnologias. Mas observamos que existe uma supervalorização e até mesmo hierarquia nessa distinção de pensamento científico.

Temos como objetivo fazer uma proposta para o ensino de física, fazendo assim com que esses paradigmas ainda persistentes possam ser quebrados. Para isso escolhemos um conto de ficção científica do autor Ted Chiang que se chama História da sua vida. Onde em sua narrativa, temos como personagens principais uma cientista linguística e um cientista físico. Que tentam cada um por meio de suas especializações entrar em contato com alienígenas, onde além disso, também mostra o contexto de suas vidas pessoais, como o papel de mãe da cientista e até mesmo um romance entre os dois cientistas. Um conteúdo de física bastante explícito é sobre o princípio de Fermat e mostrando assim que é um princípio variacional.

Como metodologia de pesquisa adotamos a realização de duas etapas com as quais buscamos, a partir de uma compreensão da literatura, a formulação e proposta de atividades didáticas. Assim, a primeira etapa lida com a análise do produto, em nosso caso, o conto de ficção científica História da sua vida do autor Ted Chiang. A segunda etapa com uma proposta de atividades que podem ser aplicadas no ensino de física. De maneira geral, na análise, estamos em busca de qual é a mensagem

transmitida pela obra. Saber o que a cena genérica lida com o gênero do discurso. Saber identificar a imagem de quem se está falando e uma imagem de para quem está falando, sendo assim realizado um estudo do contexto do discurso presente no conto de ficção científica. É perceber se a cena lida com um contexto sócio-político-histórico e cultural. Dessa maneira, se faz um estudo que aborda a produção, o produto e a recepção de um material midiático, como aponta Charaudeau (2009). A realização desta primeira etapa permite um entendimento melhor do material midiático, o que possibilita identificar elementos que ajudarão a guiar a formulação didática. Na segunda etapa, a elaboração de atividades, reflete-se sobre a questão: Como pensar uma atividade para trabalhar ciência a partir de um conto? Que atividade realizar? Como será a aplicação? Ou seja, é o momento em que devemos nos questionar o que será sugerido a ser feito no âmbito educacional. Tais questões que envolvem um possível recorte do material e sua transposição. Logo, são questões que serão respondidas de acordo com o contexto onde a atividade será realizada. Na transposição, ocorre a identificação do conteúdo científico presente da obra. Conteúdos estes que não se limitam apenas a conceitos e leis, mas abordam algo mais amplo.

Neste sentido o conteúdo presente nas obras pode ser categorizado, em três níveis ou esferas, de acordo com sua relação com o conteúdo epistemológico das ciências (PIASSI, 2007, p. 76). Na primeira esfera, a dos produtos – também chamada de conceitual-fenomenológico –, relacionamos os conceitos, leis, fatos e fenômenos científicos. A segunda esfera, a dos processos ou histórico-metodológica, procuramos identificar qual a finalidade da ciência e como ela procede. Já a terceira esfera, nomeada de sócio-política, é onde se fazem presentes as relações entre ciência e sociedade. Reconhecemos, no entanto, que existem diversas interações presentes no ambiente escolar, de forma que às vezes uma relação triangular não dá conta de toda a complexidade educacional.

2 Física e literatura

Em relação a presença e utilização de produtos midiáticos em atividades didáticas, notamos que não é atual a proposta de aproximação da ciência e arte, seja a literatura, cinema, teatro, entre outras. Autores como Zanetic (2006) e Piassi (2007) veem interessantes possibilidades tanto para discutir temas da ciência, como processos sobre como ela é representada nestes suportes. Seja para exemplificar um momento histórico, observar uma abordagem de um assunto científico pelo ponto de vista do artista, ou para investigar como a ciência é representada, é possível pensar nessa aproximação entre ciência e arte para atividades didáticas, em toda a educação. Logo a física e a literatura podem ter características comuns, como cita Lima (2015):

Existe, também, na literatura uma preocupação com a estética, a forma com que se escreve o texto pertencente a determinado conjunto literário. Na física, a estética também está presente no formalismo matemático, na forma de apresentação de um problema e na sua solução, e até mesmo nos nomes das teorias, portanto, há beleza envolvida, tanto em um texto bem escrito, quanto em um conceito físico bem elaborado (LIMA, 2015, p. 3).

Podemos extrair da literatura diversos conceitos sobre a escrita, tempo e várias outras coisas, porém nosso, foco não será o estudo da literatura em si, mas sim utilizar da interpretação de texto do conto como uma ponte para o conhecimento, embora essa aprendizagem não se limite apenas a física, mas também a literatura, arte e várias outros contextos sociais que possam estar presente na obra. Como diz Lima (2015, p. 581) “na física há a interpretação abstrata e matemática dos modelos físicos, enquanto na literatura há a compreensão pela linguagem metafórica.”. A leitura pode ser uma ponte para que seja esclarecido certos conceitos que por si só possam ser difíceis de assimilar, visto que o princípio variacional não é tão simples de entender. Uma leitura relativamente curta, que é o caso do conto pode instigar a curiosidade do aluno para a ciência como também para a leitura.

2.1 A literatura na sala de aula

Trazer a leitura para dentro da sala de aula, pode envolver alguns obstáculos, tais como, a falta de hábito de leitura e o diferente ritmo de alfabetização por parte dos discentes. A obra escolhida pelo educador deve possuir algo que construa um sentido de identificação com o educando e possua uma linguagem acessível aos educandos (GOMES, 2011, p.70). Acredito que precisamos desconstruir isso, de que a leitura é um processo que deve apenas ser realizado nas aulas de português/literatura, sendo que constantemente, independentemente de qual a disciplina que estamos estudando, necessitamos realizar uma leitura de algum material didático. Portanto podemos afirmar que, “todo professor, independente da sua disciplina também é um professor de leitura” (SILVA, 1998, p. 125).

Outra forma de se pensar da atividade leitora na sala de aula, é a partir de analogias. Onde o texto literário, pode abrir portas a mais de uma interpretação, permitindo assim o uso da analogia com situações parecidas que se encontra no texto. E a analogia tem como papel facilitar tanto a criação ou a assimilação de um determinado conceito (RAMOS, 2012, p. 40). A partir disso, podemos extrair conhecimento específico com relação a disciplina ou em um contexto social.

Mesmo que a presente proposta para o âmbito pedagógico seja voltada para o ensino de ciências, isso não impede que educadores de outras disciplinas se beneficiem da seguinte proposta, visto que o professor é quem estabelece o seu objetivo com relação aos discentes, ao realizar a leitura em sua aula. Já que “a compreensão do texto a ser alcançada por sua leitura crítica implica a percepção das relações entre o texto e o contexto.” (FREIRE, 2001b, p.5). Como educadores, abrimos possibilidades para uma educação mais crítica e reflexiva.

É esperado que pessoas da área de ciências humanas durante sua formação não tenham tanto domínio sobre a ciências da natureza, e que as pessoas da área de física não tenham conhecimento sobre a área de humanas. Visto que o escritor Charles P. Snow em seu *livro As duas culturas*, falou justamente sobre o abismo que pode haver entre as duas culturas científicas, onde ele afirma que já esteve presente em reuniões com pessoas das duas áreas onde disse que foi provocado e perguntou se quem era da área de humanas saberia descrever a segunda lei da termodinâmica onde a resposta de todos ali presente foi negativa, e que isso seria equivalente a perguntar para alguém da área da natureza e exatas se já leu alguma obra de Shakespeare (SNOW, 1995, p.33). Podemos observar então, que isso pode ser um obstáculo para o docente específico em ciências ou literatura, conseguir unir esses

dois conhecimentos distintos e tirar o máximo de proveito dessa ferramenta útil no ensino, que seria a junção da física e literatura. Por isso, é necessário que o educador ao propor uma atividade interdisciplinar se prepare com antecedência, para ter domínio em sua nova ferramenta que irá o auxiliar no ensino.

2.2 A ficção científica

A ficção científica vem crescendo e cada vez mais chamando a atenção da mídia, com suas ficções de como provavelmente vai ser o futuro com as tecnologias, utilizando de carros voadores, viagens no tempo, dispositivos eletrônicos cada vez mais úteis, e entre outras coisas. Sendo assim um produto contrafactual, ou seja, que nos possibilita de criar uma imaginação mais fértil, que no futuro podem ser possíveis ou impossíveis, não se limitando assim apenas ao mundo real. Portanto, o conto de sci-fi pode ser um atrativo inicial.

A ficção científica pode descrever o ser humano através de suas múltiplas inteligências, seja, como poeta, escritor, compositor, ou cientistas e entre várias outras facetas que uma pessoa possua, Bráulio Tavares, apoia isso, em uma entrevista:

FC é William Gibson, Ted Chiang, Bruce Sterling, Ursula Le Guin, Kim Stanley Robinson, Greg Egan. São escritores que escrevem muitíssimo bem, e que falam do mundo de hoje. A FC é a única literatura que fala da totalidade da experiência humana. O romance de hoje em dia se divide em regionalismo rural e existencialismo urbano, vive fechado na repetição de temas de mais de cem anos atrás. E só. Quem, nos anos 1950, falava em clones, em ecologia, em computadores, em tsunamis? A ficção científica. São as únicas pessoas que sabem o que está acontecendo no mundo, neste instante (TAVARES, 2008).

Portanto, a ficção científica aborda diversos temas que podem ser extraídos para enriquecer o conhecimento de uma pessoa. Não importa o meio que a ficção científica possa ser utilizada, ela ganha uma visão de mundo diferente. E isso por si só a torna atrativa. Note que para Tavares o autor Ted Chiang é uma grande referência da FC, que atinge suas perspectivas.

A sci-fi pode ser caracterizada por seus subgêneros também, como a ficção científica *hard*, que pode ser definida principalmente por conter a exploração de temas conectados a química, matemática, biologia, física e engenharias, astronomia e entre outras, por mais que criem novas possibilidades no universo, existe uma base científica, não sendo totalmente ficção (PIASSI et al, 2017, p. 25). A ficção científica

soft já nesse caso tem uma maior exploração dos temas com relação as ciências humanas. Mas podemos notar que por muitas vezes algumas obras podem misturar a *hard* e a *soft*, fazendo com que fique difícil distinguir qual subgênero é mais presente (PIASSI et al, 2017, p.26). A *space opera* é um gênero que utiliza da ficção científica apenas como uma “roupagem” para contar histórias de aventuras divertidas e ingênuas. Na fantasia científica é explorada a nossa imaginação, como por exemplo a telecinese, parapsicologia, telepatia e entre outros. As distopias exploram mais em como o contexto da sociedade lida com os caminhos que as novas invenções científicas e tecnológicas possam interferir (PIASSI et al, 2017, p. 28).

Sobre a ciência presente nessas narrativas, podemos nos perguntar: quais são as suas características? É uma ciência inventada, logo ficcional, ou tenta ser a mais fidedigna possível? Evidente que se tratando de uma narrativa do cunho de uma ficção científica, quanto mais próxima da realidade, melhor o efeito científico da obra. Além da questão conceitual, também podemos nos ater a forma como essa ciência é representada. Estas questões permeiam a proposta conceitual da natureza da ciência, ou seja, o que é ciência, como ela é produzida, entre outros.

Até mesmo na ficção científica a ciência é entendida como um método, normalmente relacionado a razão. Um método que envolve etapas como elaboração de hipóteses e teorias, realização de testes, estudo de resultados, aprovação ou refutação de ideias, entre outras, para enfim, chegar a conclusões. Evidente que toda ciência não pode ser reduzida a apenas um método, no entanto, geralmente essas etapas estão presentes. Entender que a ciência tem um método, é um dos objetivos do seu ensino. Afinal, diferente do que alguns livros didáticos indicam, a ciência não surgiu pronta. Esta ponderação nos leva a ideia da necessidade de uma alfabetização científica (SASSERON, CARVALHO, 2011) a qual possibilite uma reflexão sobre a natureza da ciência. Dentre as habilidades de uma pessoa alfabetizada científica, como proposto por Sasseron e Carvalho (2011, p. 69-70), destacamos, compreender que a produção dos saberes científicos depende, ao mesmo tempo, de processos e pesquisas e de conceitos teóricos, faz distinção entre resultados científicos e a opinião pessoal, compreender como as ciências e as tecnologias foram produzidas ao longo da história. Estas quatro habilidades, assim como as demais, são fomentadas com um estudo e reflexão sobre uma obra de ficção científica.

No ensino, o uso de obras de ficção científica na sala de aula pode ser útil, sejam elas com ou sem falhas conceituais (PIASSI, 2007, p.135). Já que ao ser

utilizado a ferramenta para o ensino, ela não se limita a apenas a aprendizagem do conteúdo, mas também o seu contexto social. Professores e pesquisadores apoiam o uso dessa ferramenta, para o ensino de ciências, como Piassi (2007), Gomes (2011) e Ramos (2012).

3 O princípio variacional e o princípio de Fermat

Nossa proposta neste capítulo é apresentar aspectos históricos e conceituais relativos ao princípio variacional.

3.1 Abordagem histórica do Princípio variacional

Não iremos nos aprofundar em como foi desenvolvido a história da ciência sobre os princípios variacionais na física, mas visto que o ambiente educacional com sua riqueza de oportunidades para o conhecimento, acreditamos que vale a pena comentar alguns aspectos de como esse princípio se desenvolveu. Um princípio variacional se utiliza do cálculo de variações, onde a partir de métodos é encontrado uma função que maximize ou minimize, aquela situação. O professor e pesquisador Ildu de Castro Moreira publicou um artigo que mostrou sua pesquisa com detalhes sobre a história de como isso se desenvolveu dentro da física, portanto com base no artigo *Maupertuis (1698-1759) e o princípio da mínima ação*, faremos nossa breve abordagem histórica.

A discussão sobre a propagação da luz e a ideia de que a natureza segue um princípio de realizar o menor esforço tem uma origem antiga, pode-se dizer que se iniciou no ano de 75 com Heron de Alexandria, onde após pesquisas discutiu os conceitos da reflexão da luz em meios homogêneos, mostrando a equivalência entre o ângulo de reflexão e o ângulo de incidência da luz, já em 1039 Ibn Haytham afirmou que a luz escolhe seguir o caminho mais fácil. Mas só em 1662 Fermat publicou o princípio de menor tempo, onde afirmou que a velocidade da luz era menor em meios densos ou refringentes (MOREIRA, 1999, p. 15). O advogado e matemático Pierre de Fermat nasceu em 1601, deixou contribuições importantes tanto para matemática como para a física. Seu trabalho sobre o princípio de menor tempo foi o primeiro problema relevante aplicado a partir do conceito de máximos e mínimos dentro do cálculo diferencial (HEWITT, 2015, p. 520). Ele queria mostrar que a lei de Snell-Descartes era inválida, mas consequentemente chegou em um resultado de maneira equivalente, mas foi o primeiro a propor e justificar o uso do princípio mínimo (MOREIRA, 1999, p.6).

Porém, isso ainda não foi bem aceito inicialmente, entre os estudiosos da época, houveram críticas com relação ao seu princípio, como cita Moreira:

Mas a principal crítica ao princípio proposto por Fermat se refere à suposição de que a natureza obedece ao princípio das vias mais curtas e simples: tratar-se-ia de um princípio moral e não físico de natureza teleológica e, portanto, inaceitável na ótica cartesiana. O princípio colocaria também a natureza em uma indecisão. Por que ela não seguiria a trajetória mais curta, a reta, se segue as vias mais curtas e simples? Qual seria o caminho mais *simples*: o mais rápido ou o mais curto? E como a natureza sabe o caminho a escolher? E o raio de luz, estando já no ar, como poderá saber para onde se inclinar se meios diferentes (água ou vidro) forem colocados em sua frente? (MOREIRA, 1999, p. 7)

Naquela época era mais comum que alguns cientistas, não distinguissem uma metodologia apenas científica, acabavam misturando com a filosofia e teologia, o que pode ser chamado de metafísica (MOREIRA, 1999, p.10), porém isso, não era visto com bons olhos, como foi o caso de Fermat com seu princípio.

Em 1710 Leibniz sugeriu para a luz o princípio do caminho mais fácil que também pode ser chamado de menor resistência, mas ele não concordava com Fermat, acreditava que a velocidade da luz seria maior nos meios mais densos. Pierre Louis de Maupertuis (1698-1759), matemático e astrônomo francês (MARION, THORNTHON, p.202) em 1744, formulou o princípio da mínima ação, ou seja, o primeiro formalismo considerado como um princípio variacional (MOREIRA, 1999, p.11). Primeiramente ele desenvolveu isso para a ótica geométrica onde obteve sucesso, ele estendeu isso para mecânica, mas que por sinal não obteve tanto sucesso assim. Isso só foi apresentado de maneira completa para a mecânica clássica por Euler, no mesmo ano de 1744 (MOREIRA, 1999, p.11).

Maupertuis ao publicar seus trabalhos, tentava justificar as causas finais dos fenômenos da natureza a existência de um Ser superior. Em seu trabalho publicado *Acordo de diferentes leis da natureza que até então pareciam incompatíveis* em 1744, ele chega a falar:

Não se pode duvidar que todas as coisas sejam regidas por um Ser supremo que, ao mesmo tempo que imprimiu forças à matéria que atestam sua potência, a destinou a executar tarefas que confirmam Sua sabedoria. E a harmonia desses dois atributos é tão perfeita que, sem dúvida, todos os fenômenos da Natureza poderão ser deduzidos de cada um tomado separadamente. Uma mecânica cega e necessária obedece ao traçado da Inteligência mais esclarecida e

mais livre e se o nosso espírito fosse suficientemente vasto, ele veria igualmente as causas dos fenômenos físicos, seja calculando as propriedades dos corpos ou buscando o que houvesse de mais conveniente para ser executado por eles (MAUPERTUIS, 1744, p.19, tradução nossa).

Maupertuis mostrou neste artigo a partir da geometria, seu princípio da mínima ação para a ótica, ele tentou corrigir o trabalho de Fermat, e concluiu que o que seria minimizado na propagação da luz de um ponto a outro não seria o tempo, mas a ação (MOREIRA, 1999, p.10). “Seu conceito de “ação” era bastante vago. (Lembre que a ação é uma quantidade com dimensões de comprimento x quantidades de movimento ou energia x tempo)” (MARION, THORNTON, 2011, p.202). Por mais que ele tenha argumentado isso, sua conclusão com relação a ótica, é muito semelhante à de Fermat (LEMOS, 2013, p. 233). E possuía falhas.

Ele termina seu artigo dando créditos a um Criador e que somente se pudessemos ter a inteligência desse Ser superior, é que poderíamos conseguir entender as causas desses fenômenos físicos. Isso com certeza causou diversas críticas ao seu trabalho, mas não havia como refutar sua demonstração matemática. Outro trabalho que ele também reforça essa ideia teleológica é em seu *Ensaio de cosmologia* publicado em 1750:

Alguns veem a inteligência Suprema em toda parte; os outros não a veem em lugar algum: acreditam que um mecânico cego poderia ter formado os corpos mais organizados das Plantas dos Animais, operando todas as maravilhas que vemos no Universo (MAUPERTUIS, 1750, p. 31, tradução nossa).

Quase cem anos depois, no ano de 1834 Hamilton Introduz o Princípio de Hamilton, onde fez sua analogia da ótica e a mecânica (MOREIRA, 1999, p.12). Atualmente o Princípio de Hamilton é também conhecido como o princípio de ação mínima. Apesar de ambos os princípios formulados por Hamilton e Maupertuis, levarem o mesmo nome, existe uma diferença em seu conceito visto que o princípio de Maupertuis estudado na mecânica analítica é utilizado para o caso de uma ação reduzida (LEMOS, 2013, p. 233). Enquanto o de Hamilton seria algo mais geral.

A partir de então, o princípio variacional da física se estendeu para outros ramos além da ótica, tais como o eletromagnetismo, onde Helmholtz em 1887 fórmula o problema variacional inverso e para a termodinâmica reversível. Hertz em 1894

mostrou o princípio variacional de uma nova forma, para o contexto da dinâmica com características locais, por exemplo, para os princípios de aceleração mínima (MOREIRA, 1999, p.15). Albert Einstein e Hilbert em 1916 aplicou o princípio variacional para a relatividade geral. De Broglie em 1923, unificou o princípio de Fermat e de Maupertuis para as ondas de matéria, e Feynman em 1948 fez uma generalização do princípio variacional para a mecânica quântica (MOREIRA, 1999, p.15).

3.2 Princípio variacional

Os princípios variacionais têm um lugar de destaque na descrição física da natureza. Trazendo discussões da suposição de que os fenômenos naturais podem ser descritos matematicamente através da estacionaridade, de determinada quantidade física (MOREIRA, 1999, p.5). Ou seja, utilizamos o cálculo variacional que tem como principal objetivo determinar um caminho, que seja, um percurso mais fácil para uma situação extrema, seja ela máxima ou mínima. Isso depende do seu atributo, como por exemplo, uma distância ou o tempo mais curto entre dois pontos. Algo básico do cálculo variacional, é determinar uma função $y(x)$ da seguinte maneira (MARION, THORNTON, 2011, p.183):

$$J = \int_{x_1}^{x_2} f\{y(x), y'(x); x\} dx, \quad (1)$$

de tal forma, que assim J um extremo. O funcional J depende da função $y(x)$. Para que J tenha um valor extremo, é necessário a condição de que (MARION, THORNTON, 2011, p.186):

$$\frac{\partial f}{\partial y} - \frac{d}{dx} \frac{\partial f}{\partial y'} = 0. \quad (2)$$

Conhecido como a equação de Euler. O princípio de mínima ação pode ser descrito como:

De todos os caminhos possíveis nos quais um sistema dinâmico pode se mover de um ponto a outro em um intervalo de tempo específico (consiste com quaisquer vínculos), o caminho real seguido é aquele que minimiza a integral temporal da diferença entre as energias cinética e potencial (MARION, THORNTON, 2011, p.203).

Que também pode ser conhecido como o princípio de Hamilton Em termos de cálculo de variações, temos (MARION, THORNTON, 2011, p.203):

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} (T - U) dt = 0. \quad (3)$$

Onde δ é uma notação para se referir a uma variação. Podemos ter a energia cinética e potencial em coordenadas generalizadas como sendo, $T = T(\dot{q}_i)$ e $U = U(q_i)$. Definindo a diferença dessas quantidades, temos (MARION, THORNTON, 2011, p.203):

:

$$L = T - U = L(q_i, \dot{q}_i). \quad (4)$$

Portanto, a função L se refere a mesma função da equação 1. Ao qual chamamos comumente como o Lagrangeano. A equação de Euler se reduz a equação de Lagrange (MARION, THORNTON, 2011, p.209):

$$\frac{\partial L}{\partial q} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} = 0, \quad (5)$$

podendo assim ser considerada como uma generalização da formulação da segunda lei de Newton (MARION, THORNTON, 2011, p.186). A qual portanto, decorre do princípio variacional, que é dado por (LEMOS, 2013, p.50):

$$\delta S \equiv \delta \int_{t_1}^{t_2} L(q, \dot{q}, t) dt = 0. \quad (6)$$

Utilizar o cálculo variacional como ferramenta para se resolver problemas, pode mostrar a invariância da referida lei sob transformações arbitrárias de coordenadas, já que os princípios variacionais independem das particulares coordenadas em que se esteja exposto (LEMOS, 2013, p.75). Também permite estabelecer uma conexão de enorme generalidade entre simetrias e leis de conservação. "E quanto ao seu aspecto estético, os princípios variacionais exprimem as leis físicas numa forma incomparavelmente concisa e elegante" (LEMOS, 2013, p.75). Observamos aqui uma diferença bastante significativa entre os máximos e mínimos do cálculo elementar,

onde lá, já temos a função e precisamos encontrar os pontos em que a variável independente seja um extremo, enquanto no cálculo variacional queremos encontrar um funcional que seja um extremo.

3.3 Reflexão e refração

Na ótica geométrica a discussão sobre a luz é limitada, no sentido de não considerarmos o seu comprimento de onda e o caráter fotônico da luz. Em resumo inicialmente há apenas a preocupação de se mostrar em como ela se comporta em determinadas situações. A luz ao caminhar de um ponto a outro se nada a detiver no caminho, ela o faz em linha reta (FEYNMAN, 2006, cap. 26). Podemos dizer que a ótica geométrica se estrutura a partir de princípios e leis, aos quais são: o seu princípio de propagação retilínea, princípio da independência dos raios de luz, leis da reflexão e leis da refração.

No componente curricular da educação básica para o ensino de ótica, se estuda o conceito de reflexão e refração. Ao pesquisarmos um livro de física para o ensino médio da coleção *Física em contextos: Pessoal, social e histórico* do autor Pietrocola et al. (2011) como esperado contém a explicação do que é o conceito da reflexão e refração.

Sabemos que a reflexão é o fenômeno em que um feixe de luz incide sobre uma superfície e retorna ao meio de origem, mas mudando seu sentido e/ou direção (PIETROCOLA et al., 2011, p.334).

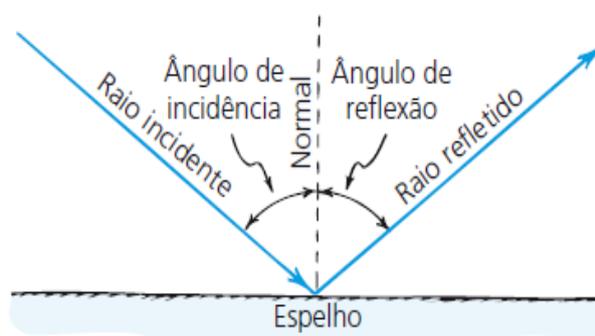


Figura 1 – Feixe de luz incidente e refletido. Fonte: (HEWITT, 2015, p. 521)

O ângulo de incidência equivale ao ângulo de reflexão. A chamada lei de reflexão (FEYNMAN, 2006, cap. 26-2):

$$\theta_i = \theta_r \quad (7)$$

Já a refração é um fenômeno da mudança do meio de propagação da luz, ou seja, quando ela atravessa de um meio diferente para outro, e na maioria das vezes, a luz sofre um desvio da sua trajetória que foi incidente inicialmente. Não existe uma refração total devido que existe energias que podem ser dissipadas, mas existe a reflexão total (PIETROCOLA et al., 2011, p.334).

Pietrocola et al. em seu livro buscou mostrar uma breve história da ciência sobre a luz, falando sobre Snell e Descartes para se chegar a uma lei para a refração. A luz ao incidir em um meio material altera sua velocidade. Esse material possui o que pode ser chamado de *índice de refração*, que é denotado por n que é dada por (PIETROCOLA et al, 2011, p.334):

$$n = \frac{c}{v} \quad (8)$$

O índice de refração não possui unidade de medida. Além da alteração da velocidade também há alteração da direção como é observado na figura a seguir:

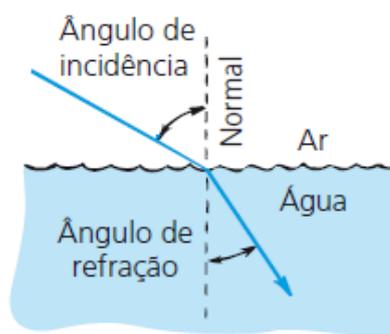


Figura 2 – Feixe de luz incidente e refratado. Fonte: (HEWITT, 2015, p.526)

Para o fenômeno da refração, é dada pela seguinte lei de Snell- Descartes (PIETROCOLA et al., 2011, p.334):

$$n_1 \text{sen} \theta_1 = n_2 \text{sen} \theta_2 \quad (9)$$

Essa equação é chamada de lei de Snell-Descartes. Uma lei de suma importância para o estudo da ótica.

Após a explicação do conteúdo sobre reflexão e refração (PIETROCLOCA et al., 2011) no fim do capítulo 10: Luz e imagem, é abordado um tópico intitulado *Por dentro do conceito* onde fala sobre o Princípio de Fermat, como um princípio de mínimo tempo. O tópico traz uma breve explicação desse conceito em apenas uma página, logo se fala muito pouco sobre o princípio, e em nenhum momento é citado que seja um princípio variacional.

Ao analisarmos o Volume 4: *ótica e física moderna* do autor Halliday et al. (2016) um livro bastante recomendado e utilizado para o ensino de física básica na graduação, no capítulo 33 que tem o tema *Reflexão e refração*, aborda o conceito da ótica geométrica e mostra a importância da lei da refração dada por Snell-Descartes. Mas em nenhum momento se fala sobre o Princípio de Fermat, explicitamente.

Independentemente de como os livros de física básica optem por abordar as leis da reflexão e refração, é importante salientar que as leis da reflexão e refração podem ser apresentadas de quatro formas distintas, sendo elas: a teoria da dispersão, o princípio de Huygens, o teorema de Malus e Dupin e o princípio de Fermat (HECHT, 2002, pág. 142-143). Cada teoria tem sua utilidade e facilidade para determinados casos. Porém, “atualmente o conceito mais poderoso e completo é a teoria eletromagnética da luz” (HECHT, 2002, pág. 142-143).

3.4 O princípio de Fermat

O princípio de menor tempo, pode ser considerado como uma unificação da ótica geométrica, onde as leis da reflexão e refração estão contidas ali. O princípio pode ser sintetizado como: “*de todos os possíveis caminhos que a luz pode tomar para ir de um ponto a outro, a luz escolhe o caminho que requer o tempo mais curto*” (FEYNMAN, 2006, cap. 26-3). Apesar de Feynman utilizar o termo “escolher”, é importante enfatizar que a luz “segue” o caminho que requer o menor tempo, não podemos afirmar que ela escolhe. Possivelmente, ele utilizou esse termo por questão de estética ou até mesmo poetizar esse princípio. Podemos explicar a reflexão

empregando o princípio de Fermat do mínimo tempo. Como mostra a imagem a seguir, temos um espelho abaixo do ponto A e do ponto B (HEWITT, 2015, p.520).

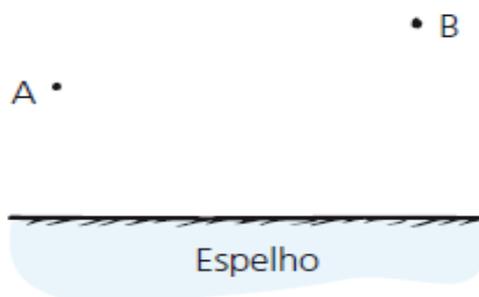


Figura 3 – Espelho. Fonte: (HEWITT, 2015, p.521)

Se o feixe de luz for de A até B, o caminho mais rápido no menor tempo, obviamente será uma reta. Mas se a luz precisa incidir no espelho, já não é mais essa uma reta (HEWITT, 2015, p. 521). Observe a figura 4, o caminho com as setas azul, de A até o espelho é pequeno, mas do espelho até B, é maior, fazendo com que seu caminho óptico total seja maior, já as linhas tracejadas verdes, supõe um caminho total do percurso de menor tempo (HEWITT, 2015, p. 521).

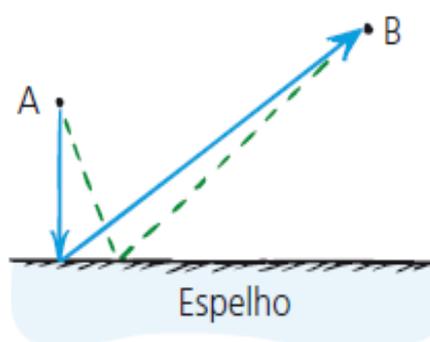


Figura 4 - Luz incidindo no espelho, a partir do ponto A até B. Fonte: (HEWITT, 2015, p. 521)

Mas se fizermos um ponto B' artificial, com simetria ao ponto B real. O caminho do ponto A até B', é uma reta, mas essa reta intercepta o ponto C, que é o ponto preciso de reflexão para se ter o caminho mais curto, de A até B (HEWITT, 2015, p. 521). A distância entre C e B é igual a distância entre C e B'. O percurso de A até B', interceptando em C, é igual o comprimento do caminho que vai de A até B, refletindo em C (HEWITT, 2015, p. 521). Mostrando assim que o ângulo incidente de A para C

é igual ao ângulo de reflexão de C para B. Como mostra a figura 5 (HEWITT, 2015, p.521).

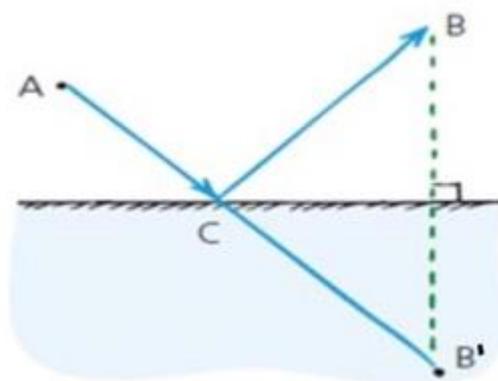


Figura 5 – Luz incidente fazendo o menor caminho ótico. Fonte: (HEWITT, 2015, p. 521)

A partir desse raciocínio geométrico e utilizando o princípio de Fermat, podemos afirmar que $\theta_i = \theta_r$, ou seja, a lei da reflexão. Mas no caso da reflexão, o menor tempo consequentemente também significa a menor distância, pois a velocidade de propagação da luz é sempre a mesma, visto que o meio é o mesmo.

É muito comum encontrar o princípio de Fermat nos livros de mecânica clássica visto que é uma das aplicações do cálculo de variações, utilizaremos desse conhecimento para comprovar a Lei da refração conhecida como Lei de Snell-Descartes, sabemos que utilizar os conhecimentos do cálculo elementar de máximos e mínimos, seria um percurso mais fácil, mas acreditamos, que não nos convém utilizar esse método, por isso, utilizaremos os métodos variacionais. Temos o caso em que a luz está passando de um meio com um índice de refração diferente do outro meio (MARION, THORNTHON, 2011, p.199). Como mostra a imagem a seguir:

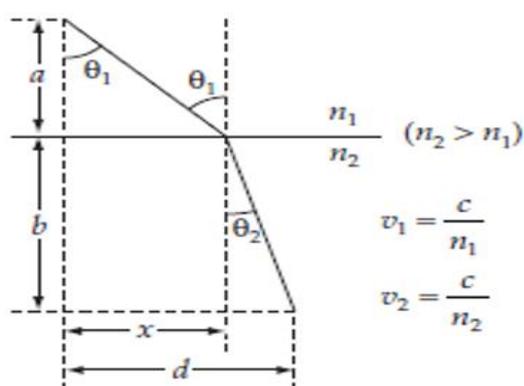


Figura 6 – Fenômeno da refração da luz.

Fonte: (MARION, THORNTHON, 2011, p. 199)

A partir da figura 6, temos que o tempo é dado por $\Delta t = \frac{\Delta s}{v}$, pegando um elemento infinitesimal, temos $dt = \frac{ds}{v}$. Para achar ds aplicamos o teorema de Pitágoras, que fica: $ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$. Fatorando por dx , obtemos (MARION, THORNTHON, 2011, p.199):

$$ds = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx, \quad (10)$$

sendo $y' = \frac{dy}{dx}$, fica:

$$ds = \sqrt{1 + (y')^2} dx. \quad (11)$$

Achamos $ds = \sqrt{1 + (y')^2} dx$, substituindo na equação, temos:

$$t = \int \frac{ds}{v}, \quad (12)$$

$$t = \int \frac{\sqrt{1+y'^2}}{v} dx, \quad (13)$$

o Lagrangeano é $L = \frac{\sqrt{1+y'^2}}{v}$. Aplicando a equação de Euler-Lagrange, temos (MARION, THORNTHON, 2011, p.199):

$$\frac{\partial L}{\partial y} - \frac{d}{dx} \frac{\partial L}{\partial y'} = 0, \quad (14)$$

fazendo as derivadas parciais;

$$\frac{\partial L}{\partial y} = 0, \quad (15)$$

$$\frac{\partial L}{\partial y'} = \frac{n}{c} \frac{y'}{\sqrt{1+y'^2}}. \quad (16)$$

Assim, substituindo na equação, fica;

$$\frac{d}{dx} \frac{n}{c} \frac{y'}{\sqrt{1+y'^2}} = 0, \quad (17)$$

$$\frac{n}{c} \frac{y'}{\sqrt{1+y'^2}} = cte. \quad (18)$$

Lembrando que $v = \frac{c}{n}$ e $y' = tg \theta$;

$$\frac{n}{c} \frac{tg \theta}{\sqrt{1+tg^2 \theta}} = cte. \quad (19)$$

Usando identidade trigonométrica, fica:

$$\frac{n}{c} \frac{tg \theta}{\sec \theta} = cte. \quad (20)$$

Logo,

$$\frac{n}{c} \text{sen } \theta = cte. \quad (21)$$

Como a velocidade da luz é constante, temos a lei para a refração:

$$n \sin \theta = \text{constante}. \quad (22)$$

Entender o princípio de menor tempo pode ser um pouco mais complicado, visto que com a lei de Snell-Descartes podemos “entender” a luz, de que ela se desvia porque faz algo na superfície. Existe a ideia de causalidade, ou seja, de uma causa e um efeito. Ela vai de um ponto a outro. Porém, o princípio do mínimo tempo é um princípio filosófico, diferente de como estamos acostumados a entender como a natureza funciona. Ela diz sobre uma reação e um efeito a seguir, ela nos diz que ao estabelecermos uma situação, é “como” se a luz decidisse qual é o menor tempo, ou o extremo e assim escolhe o caminho (FEYNMAN, 2006, cap. 26-5). Portanto, isso gera alguns questionamentos: Como ela consegue descobrir isso antes de, de fato ocorrer a situação? Ela prevê todos os caminhos possíveis? São aspectos um tanto difíceis de entender.

Podemos enunciar o princípio de Fermat de uma outra forma: “a luz propaga-se entre dois pontos diferentes, ao longo de uma trajetória para o qual o caminho total tem um comportamento estacionário relativo as variações dessa trajetória” (HECHT, 1998, p. 141). Ou seja, o caminho ótico será estacionário, tendo assim um extremo, seja ele máximo ou mínimo. O fato desse enunciado utilizar o termo caminho, o que intuitivamente pode parecer incomum, ele se refere neste caso, que o caminho total será o de menor tempo.

4. O Conto: História da sua vida

O conto de ficção científica *História da sua vida* foi escrito por Ted Chiang que nasceu em Port Jefferson, Nova York, em 1967, formado em Ciência da Computação (INTRÍNSECA, 2016, não paginado). O conto escolhido foi adaptado para o cinema com o filme intitulado: *A chegada*, lançado em 2016 que foi indicado ao oscar em oito categorias. O autor tem poucas obras, mas quase sempre seu trabalho ganha prêmios e chama a atenção pela forma fiel que se refere ao cunho científico (INTRÍNSECA, 2016, não paginado).

A editora intrínseca lançou um livro intitulado ‘*História da sua vida e outros contos*’ com oito contos de Ted Chiang reunidos no ano de 2016, a capa do livro traz expressa o comentário de Bráulio Tavares sobre o conto:

História da sua vida que dá título a coletânea, é um dos textos mais emocionantes e premiados de Chiang, adaptado para o cinema como *A chegada*, e mostra uma linguista que aprende um idioma de uma raça alienígena, o que a leva a rever suas crenças e modifica sua visão de mundo. Com sua prosa límpida e ideia desconcertantes, Ted Chiang constrói as mais fantásticas proposições desenvolvidas com extremo rigor científico, o que faz de história da sua vida e outros contos uma coleção de soluções dramáticas com a elegância de uma equação matemática e a imageria vívida de um desenho animado. Uma prova de que mesmo o insólito ou o fantasioso podem ter sua lógica e seu rigor oculto (Tavares, 2016, não paginado).

Fazendo um breve resumo, o conto fala sobre uma raça de alienígenas que será chamado de Heptápodes que aterrissa na Terra, o exército e o governo tentam entrar em contato com eles querendo saber qual é o objetivo deles para com o planeta Terra, e se eles são uma ameaça. Para entrar em contato com eles, é assim convocado a cientista Dra. Louise especializada em linguística e o cientista Dr. Gary da área de física, para ambos tentarem entrar em contato e descobrir o que eles queriam de nós seres humanos. Além de mostrar a dificuldade de se aprender uma nova língua, e as discussões físicas e filosóficas. A narrativa contém dois tempos verbais, uma no presente e outra no futuro, um futuro que mostra trechos da Dr. Louise com sua futura filha, e um romance com o Dr. Gary, com quem se casará e terá uma filha. Fazendo até mesmo uma analogia de sua vida pessoal com o princípio variacional da física, que será discutido mais à frente.

É considerado de ficção científica porque trata do uso da ciência que conhecemos em algo que não é possível, no caso usar a linguística e a física para que os humanos se comuniquem com uma raça de alienígenas que é chamado de

Heptápodes. Podemos considerar seu subgênero como uma ficção científica hard, pois mostra muito a ciência da linguística (que é concebida como a ciência que se ocupa do estudo acerca dos fatos da linguagem) da natureza e exatas. Os temas principais presentes são os de alienígenas, nave, linguística, física, matemática.

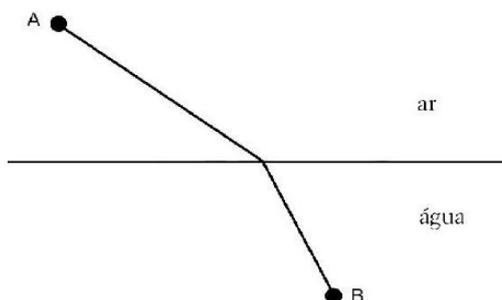
4.1 Análise do conto: História da sua vida

O conto tem como personagem principal a Dr. Louise Banks que é uma professora e cientista linguística, logo de início mostra as memórias que Louise possui com sua filha, e no decorrer da história em vários momentos aparecem esses resquícios de memória com sua filha que ela ainda nem deu a luz que a princípio não se é explicado o porquê dessas lembranças. Outro personagem principal é o Dr. Gary Donnelly que é um físico. Ambos são chamados pelo exército para trabalharem juntos e assim tentarem conseguir entrar em contato com algo que são supostamente alienígenas e que serão chamados de Heptápodes (do grego hepta, "sete", e podos, "pé/pata"), para chegar em uma resposta em saber qual o propósito deles em se hospedarem na terra. Supostamente aterrissaram na terra com algo que podemos imaginar como uma "nave", mas que contém tipo uma parede de vidro que são chamados de espelhos pelo grupo, a aparência deles é descrita como que se parecesse com um barril suspenso no ponto em que seus setes membros se encontravam. Qualquer um dos membros podia servir como braço ou perna, e eram simétricos.

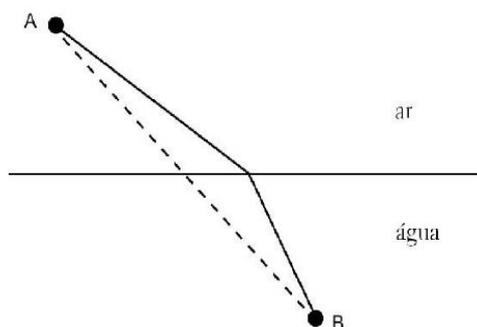
A Dra. Louise ia conduzir pela primeira vez um procedimento para descobrir uma monolíngue, ou seja, a língua que os Heptápodes se comunicam. Para isso é usado tanto a fonética como também grafemas. Ela descobre duas diferentes formas dos alienígenas se comunicarem, que foi discernido como Heptápode A que é a sua *língua falada*, que é descrita como tendo uma livre ordem de palavras e muitos níveis de frases embutidas em outras. A compreensão do Heptápode B, que é a *língua escrita* dos aliens, é essencial para a trama e para nós, visto que é a língua que se explora o princípio variacional da física. Mas o Heptápode B tem uma estrutura muito complexa.

Os físicos tentavam entrar em contato com os Heptápodes, mas por meio de temas da física utilizando a matemática, para descobrir se eles tinham o conhecimento sobre esses fenômenos da natureza. Um ponto que logo de início pode ser considerado como uma ciência extrapolada e que o gênero de ficção científica gosta de abordar bastante, é o tema sobre alienígenas, inclusive a de que eles são mais inteligentes que os seres humanos. Visto que no desfecho da narrativa isso é demonstrado pelo fato deles saberem explicar os mesmos conceitos da natureza com uma matemática muito mais simples que o cálculo que conhecemos. Como mostra o trecho a seguir:

— Houve uma batida na porta e, antes que eu pudesse atender, Gary entrou, parecendo radiante.
 — Illinois conseguiu uma repetição em física.
 — É mesmo? Isso é ótimo. Quando aconteceu?
 — Há algumas horas; acabamos de fazer uma videoconferência. Deixe-me mostrar a você o que é.
 Ele começou a apagar meu quadro-negro.
 — Não se preocupe, eu não ia precisar de nada disso.
 — Que bom.
 Ele pegou um pedaço de giz e desenhou um diagrama.



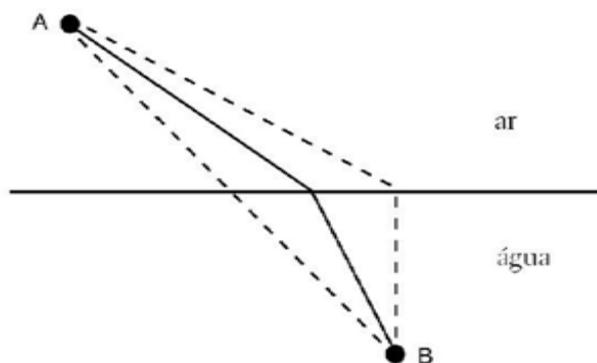
— Está bem, este é o caminho que o raio de luz percorre quando atravessa do ar para a água. O raio de luz se propaga em linha reta até atingir a água; a água tem um índice de refração diferente, por isso a luz muda de direção. Você já ouviu falar nisso antes, não é?
 Assenti.
 — Claro.
 — Agora, aqui está uma propriedade interessante sobre o caminho que a luz percorre. O caminho é a rota mais rápida possível entre esses dois pontos.
 — Não entendi.
 — Imagine, só por diversão, se o raio de luz viajasse por esse caminho.
 Ele acrescentou uma linha pontilhada ao diagrama.



— Esse caminho hipotético é mais curto que o caminho que a luz realmente percorre. Contudo, a luz se propaga mais devagar na água do que no ar, e uma percentagem maior desse caminho é realizada embaixo d'água. Então a luz levaria mais tempo para percorrer esse caminho do que pelo percurso verdadeiro.

— Está bem, entendi.

— Agora imagine se a luz viajasse por este outro caminho. Ele desenhou uma segunda trajetória pontilhada.



— Esse caminho reduz o percentual sob a água, mas o comprimento total é maior. Também demoraria mais para a luz se propagar por este caminho do que pela trajetória verdadeira. — Gary largou o giz e gesticulou na direção do diagrama no quadro-negro, as pontas dos dedos sujas de pó branco. — Qualquer caminho hipotético exigiria mais tempo do que o tomado na realidade. Em outras palavras, a rota feita pela luz é sempre a mais rápida possível. Esse é o princípio de Fermat, o do menor tempo possível. (CHIANG, 2016, pág. 157-160)

Esse trecho fala sobre a refração, e de que o fenômeno da refração se deduz a partir de princípio de Fermat de menor tempo possível, sabemos que o princípio de Fermat, apesar de ser conhecido como o de menor tempo, não necessariamente a luz irá percorrer sempre a trajetória de menor tempo, ela vai fazer um percurso extremo, o que o torna assim, em um princípio variacional, um atributo que nesse caso será o tempo, que pode ser um mínimo ou máximo. Assim, como o personagem que faz o papel de físico explica no próximo trecho:

— Na verdade, é curioso que o princípio de Fermat tenha sido a primeira descoberta; embora seja fácil de explicar, é necessário usar cálculo para descrevê-lo matematicamente. E não cálculo comum, mas o cálculo de variações. Achávamos que algum teorema simples de geometria ou álgebra seria o divisor de águas.

(...)

— Então vocês podem partir do princípio de Fermat para outras áreas da física?

— É bem provável. Há muitos princípios físicos iguais ao de Fermat.

— Quais? Como o princípio de Louise sobre o menor espaço no armário? Quando a física ficou tão minimalista?

— Bem, a palavra “menor” é enganadora. Sabe, o princípio de Fermat do menor tempo é incompleto; em certas situações, a luz segue uma trajetória que leva *mais* tempo do que a de qualquer uma das outras possibilidades. É mais preciso dizer que a luz sempre segue um caminho *extremo*, ou um que minimize o tempo levado, ou um que o maximize. Um mínimo e um máximo compartilham de certas propriedades matemáticas, então as duas situações podem ser descritas com uma equação. Assim, para ser mais exato, o princípio de Fermat não é um princípio minimalista; em vez disso, é o que se conhece como princípio “variacional”.

— E há mais desses princípios variacionais?

Ele assentiu.

— Em todos os ramos da física. Quase toda lei da física pode ser reescrita como um princípio variacional. A única diferença entre esses princípios está em qual atributo é minimizado ou maximizado. — Ele gesticulou como se os diferentes ramos da física estivessem dispostos à sua frente em uma mesa.

— Na ótica, onde o princípio de Fermat se aplica, o tempo é o atributo que precisa ser extremo. Na mecânica, é um atributo diferente. No eletromagnetismo, é outra coisa. Porém, todos esses princípios são parecidos matematicamente. (CHIANG, 2016, pág. 124)

É percebido que os alienígenas, possuem conhecimentos sobre esse fenômeno da natureza onde o princípio de Fermat descreve que a trajetória percorrida pela luz ao se propagar de um ponto a outro é tal que o tempo gasto em a percorrer é um mínimo. Esse enunciado aparentemente parece ser muito simples, e por muitas vezes é apenas descrito dessa forma dentro da sala de aula, para assim mostrar as leis da reflexão e refração. Mas a demonstração matemática para resolver problemas desse tipo é considerado mais difícil que o normal de ser solucionada, visto que se utiliza do cálculo variacional.

Eis uma das elegâncias do princípio variacional, que é pegar um conjunto maior de certos comportamentos da natureza, e unificar em um conjunto menor para a partir disso deduzir outras leis. Como no caso do Princípio de Fermat, podemos afirmar que a partir do seu princípio podemos deduzir as leis da reflexão e refração, da ótica geométrica. Apesar de que como vimos anteriormente, existem certas limitações em seu princípio. Dentro desse aspecto ele comenta que quase toda a lei da natureza em vários ramos da física pode ser reescrita como um princípio variacional. E a única diferença entre esses princípios está em qual atributo é minimizado ou maximizado. A partir dessa explicação que o físico faz para Louise, ele espera entender de que forma o Heptápodes descrevem matematicamente esse princípio da natureza. Quando isso acontece descobrem que os alienígenas possuem um modo muito mais

fácil de fazer essas descrições matemática sem utilizar do cálculo que é a forma utilizada para que os humanos demonstrem, porém, no conto não mostra esses cálculos, apenas é citado.

Até então neste trecho a explicação física do princípio é mostrada de maneira fidedigna sobre o conceito físico. A partir de então, são feitas questões filosóficas e históricas sobre o princípio variacional. Como mostra o trecho a seguir:

— Mas eu queria lhe perguntar sobre o princípio de Fermat. Algo sobre ele me parece estranho, não consigo saber exatamente o quê. Simplesmente não me parece uma lei da física.

Um brilho surgiu nos olhos de Gary.

— Aposto que sei do que está falando. — Ele partiu um guioza ao meio com os hashis. — Você está acostumada a pensar na refração em termos de causa e efeito: chegar à superfície da água é a causa, e a mudança de direção, o efeito. O princípio de Fermat parece estranho porque ele descreve o comportamento da luz em termos orientados para um objetivo. Parece um mandamento para um raio de luz: “Minimizarás ou maximizarás o tempo levado para chegar ao teu destino.”

Pensei um pouco.

— Continue.

— É uma velha questão na filosofia da física. As pessoas falam sobre isso desde que Fermat o formulou pela primeira vez nos anos 1600; Planck escreveu volumes sobre o assunto. A situação é que, enquanto a formulação das leis de física é causal, um princípio variacional como o de Fermat é dotado de propósito, quase teológico.

— Hum, é um modo interessante de explicar. Deixe-me refletir sobre isso por um minuto. — Peguei uma caneta e desenhei em meu guardanapo uma cópia do diagrama que Gary desenhara no quadro-negro. Pensando em voz alta, continuei: — Está bem. Então vamos dizer que o objetivo de um raio de luz é pegar a trajetória mais rápida; como a luz resolve fazer isso?

— Bom, se eu posso falar de forma antropomórfica e projetional, a luz precisa examinar os caminhos possíveis e calcular quanto tempo cada um levaria.

Gary pegou o último guioza da travessa.

— E, para fazer isso, o raio de luz precisa saber exatamente qual é seu destino.

Se o destino fosse outro, o caminho mais rápido seria diferente — continuei.

Gary assentiu.

— Isso mesmo. A noção de uma “trajetória mais rápida” não significa nada a menos que haja um destino específico. E calcular quanto tempo determinado trajeto leva também exige informação sobre o que há ao longo desse caminho, sobre onde fica a superfície da água.

Parei de olhar para o diagrama no guardanapo.

— E o raio de luz precisa saber tudo isso de antemão, antes de começar a se mover, certo? — perguntei.

— Digamos assim: a luz não pode começar a viajar em uma direção qualquer e fazer correções de percurso posteriormente, porque o caminho resultante desse comportamento não seria o mais rápido possível. A luz precisa fazer todos os cálculos logo no início — respondeu Gary.

Pensei comigo mesma: *o raio de luz precisa saber onde vai parar antes de poder escolher a direção em que vai começar a se mover.* Eu sabia o que isso me lembrava. Olhei para Gary. (CHIANG, 2016, p. 167 – 168).

É simplesmente incrível e inteligente como o autor consegue relacionar os conceitos científicos de princípios variacionais para uma discussão filosófica, falando

que a formulação das leis de física geralmente é causal, já um princípio variacional como o de Fermat é dotado de propósito, quase que teológico. Apesar, de que sabemos que na atualidade a ciência não a enxerga dessa forma. Mas mostrou assim fatos que realmente aconteceram na história da ciência sobre o princípio variacional, como vimos Fermat, Maupertuis e vários outros cientistas da época muitas vezes justificaram essas causas finais pela existência de um Ser superior. Tentaram inserir que um fenômeno da natureza antes mesmo de agir tivesse um objetivo, ou seja, supõe que a física poderia agir envolvendo causas finais, algo que estava no futuro, mas algo que por outros era considerado como duvidoso e até mesmo inválido. Muitos fenômenos da natureza seguem o princípio variacional, mas até hoje é um ponto bastante especulado, do porquê a natureza se comporta de tal maneira.

É citado de como é intuitivo para nós seres humanos pensar na lei da física como uma forma causal. Uma causa e um efeito. Já para o princípio variacional é como se antes da “ação” acontecer, ela precisasse saber seu objetivo, seja ele maximizar ou minimizar. “E era necessário saber os estados inicial e final para alcançar esse objetivo; era conhecer os efeitos antes do início das causas. Eu estava começando a entender isso também” (CHIANG, 1999, p. 173 – 174). A partir desse momento começa a se esclarecer o porquê a Dr. Louise tinha “lembranças” com sua filha, mas que até então, ela ainda não tinha nascido. O autor nessa parte faz uma analogia do princípio variacional para a vida pessoal dela. Algo que Maupertuis em seus artigos publicados tentava fazer, correlacionar o princípio variacional ao contexto do ser humano. Como Moreira (1999) cita em seu artigo que fez uma análise histórica sobre o princípio de menor tempo, ele nos diz que Maupertuis ao publicar o artigo intitulado: *Ensaio de filosofia moral* de 1749, chegou ao ponto de sugerir um modelo de *aritmética moral* com base em seu princípio de mínima ação, ou seja, no comportamento humano e na política, se tratava de minimizar as dores e privações e maximizar os prazeres. E tendo convicção de seus ideológicos, que o cristianismo era a maneira benéfica de se maximizar a felicidade. Isso é interessante, porque no decorrer da narrativa o autor faz o mesmo com a personagem Louise.

A existência do livre-arbítrio vai resultar em nossa incapacidade de ver o futuro. E sabíamos da existência do livre-arbítrio porque tínhamos experiência direta com ele. A vontade era parte intrínseca da consciência. Era mesmo? E se a experiência de conhecer o futuro mudasse uma pessoa? E se evocasse um sentido de urgência, um sentido de obrigação de agir do modo que sabia que agiria? (CHIANG, 1999, p. 175 -176)

É até mesmo discutido questões com relação ao livre arbítrio, se realmente o temos em nossas vidas, com analogia de que se a natureza poderia “predizer” o seu futuro caminho.

Até que em determinado momento a Dr. Louise chega à conclusão de que nós seres humanos víamos o universo da seguinte forma: quando um feixe de luz atinge a água em determinado ângulo e o atravessa em um ângulo diferente, sabemos que a luz muda de direção, portanto enxergávamos assim a natureza ao nosso redor. Enquanto se explicasse o princípio de mínimo tempo que a luz o segue, era como os Heptápodes enxergavam o mundo. Logo, existia duas interpretações distintas para a mesma situação.

O universo físico era uma língua com uma gramática perfeitamente ambígua. Todo fenômeno físico era uma expressão que podia ser analisada de duas maneiras completamente diferentes, uma causal e a outra teleológica, ambas válidas, nenhuma delas desqualificada, não importava a quantidade de contexto disponível. (...) Nós vivenciamos os acontecimentos em uma ordem e percebemos sua relação como causa e efeito. Os heptápodes vivenciavam todos os acontecimentos ao mesmo tempo, e percebiam um propósito essencial a todos eles. Um propósito minimizador, maximizador. (CHIANG, 2016, p.178)

É afirmado que não tínhamos ainda conquistado sabedoria o suficiente para entender que ambos os fenômenos são válidos, e de que a liberdade existe, apesar de o princípio variacional parecer querer contrariar isso. Como mostra o seguinte trecho:

A liberdade não é uma ilusão; ela é perfeitamente real no contexto da consciência sequencial. No contexto da consciência simultânea, a liberdade não é relevante, tampouco a coerção; é simplesmente um contexto diferente, nem mais nem menos válido que o outro. É como a famosa ilusão de ótica do desenho de uma moça elegante, com o rosto virado para longe do observador, e ao mesmo tempo uma bruxa com verruga no nariz, o queixo encostado no peito.

Não há interpretação “correta”; as duas são igualmente válidas. Mas você não consegue ver as duas ao mesmo tempo.

Do mesmo modo, o conhecimento do futuro era incompatível com o livre-arbítrio. O que possibilitava que eu exercesse minha liberdade de escolha também impossibilitava que eu soubesse sobre o amanhã. De modo inverso, agora que conheço o futuro, jamais agiria contra ele; incluindo contar aos outros o que sei: os que conhecem o futuro não falam sobre ele. (CHIANG, 2016, p.139)

No final do conto, o motivo dos alienígenas terem vindo a terra, fica em aberto. A Dra. Louise, por mais que entenda a forma deles pensarem em relação ao tempo deles. Ela termina dizendo o quanto aquilo mudou a vida dela, visto que como ela

tinha visto o futuro, ela tinha uma escolha em suas mãos. E mais uma vez é feito uma analogia do princípio variacional a vida pessoal dela, dizendo: “Desde o começo eu conheci meu destino, e escolhi meu caminho de acordo com isso. Mas estou trabalhando na direção de uma extrema alegria ou de uma extrema dor? Será que alcançarei um mínimo ou um máximo?” (CHIANG, 2016. p. 192) E ela escolhe se casar com Dr. Gary e ter uma filha com ele. Por mais que o conto diversas vezes faça analogia do princípio variacional a vida pessoal dos personagens o que faz parte da ficção, e traz à tona polêmicas que ocorreram no decorrer da história da ciência, sabemos que hoje, a ciência possui métodos científicos, que tentam ao máximo ser imparciais com relação a crenças pessoais.

Observamos que a narrativa de ficção científica engloba as três esferas comentadas anteriormente com base em (PIASSI, 2007, p. 76). Já que conseguimos extrair conceitos fidedignos a ciência, teve questões sobre como o conceito da física discutido se deu, em sua história da ciência, e ao mesmo tempo o impacto que isso tem dentro da sociedade, já que os dois cientistas tinham sido chamados para tentar se comunicar com os alienígenas e saber o real motivo deles estarem ali e de como isso poderia afetar a humanidade. Enfatizamos, que as questões filosóficas e teleológicas, que foram discutidas durante o enredo, demonstraram acontecimentos verdadeiros do passado, mas que nos dias atuais são inválidas.

Também traz a reflexão sobre a presença feminina como cientista, contribuindo assim para a realização de uma alfabetização científica na qual a questão da atuação feminina na ciência esteja presente, mesmo não sendo especificamente uma pesquisadora em ciências da natureza e exatas, mas na ciência no geral, permitindo assim que jovens, por exemplo, possam se enxergar nas atividades apresentadas. O fato dela estar ali como cientista e mãe, em um papel principal na trama, e com um cargo de liderança, mostrando assim que a mulher pode ser capaz de ocupar cargos que sejam predominados por homens, ainda estamos em um progresso lento para a equidade do gênero feminino nas ciências. Por esse intermédio, trazer a física e literatura para a sala de aula, vai além de se aprender um conceito físico, a sci-fi reflete dilemas enfrentados por diversas pessoas. E nesse caso em específico, o dilema enfrentado pelas cientistas. Já que não precisamos pesquisar muito, para afirmar que infelizmente seja mais difícil nos lembrarmos de mulheres cientistas tanto na vida real como personagens fictícias.

5 Uma proposta do conto na sala de aula

Apesar de o conto exigir que o leitor realize uma leitura cautelosa para entender a história, visto que a narrativa se dá em dois tempos verbais e pode ser confuso no início, é uma rica ferramenta para o ensino de ciências, em especial da física, pois existem várias vertentes que podem ser retiradas do conto, principalmente sobre o estudo da ótica geométrica a partir do princípio variacional como foi mostrado até aqui. Mas também aborda temas que são enfrentados em nosso contexto social, na sociedade como um todo. Acreditamos que seja uma proposta de ensino válida tanto para a educação básica como para o ensino superior, visto que o princípio variacional é abordado no conto de maneira conceitual, onde o docente pode explicar alguns aspectos do que seria esse princípio de maneira geral dentro da física.

Por ser um conto não tão curto assim, pois tem 65 páginas, o docente poderia fazer recortes do conto para ser lido durante o horário de aula ou solicitar aos discentes que realizassem a leitura como uma atividade extra. Mas ser discutido dentro da sala de aula, os pontos que o conto aborda. Podendo fazer alguns dos seguintes questionamentos:

- 1- Atualmente conceitos filosófico-teológicos, tem lugar na ciência da natureza e exatas? Na sua opinião, um cientista consegue ser imparcial?
- 2- Se a ciência pode ter impacto no contexto da sociedade no geral, de que modo isso se deu durante a narrativa do conto?
- 3- Qual foi a contribuição de Pierre de Fermat para a ciência?
- 4- Se você pudesse prever o futuro, o que faria?
- 5- Para você de que maneira o princípio variacional se observa na natureza?

Essas perguntas são apenas algumas sugestões do que o docente poderia extrair do aluno, mas cabe a ele estabelecer o que ele quer que o aluno alcance aprender. Mas sempre levando em conta que cada pessoa é singular, e a aprendizagem que cada um for retirar dessa leitura, com toda certeza será em algum aspecto distinto e único. Particularmente, acredito que isso seja uma das coisas mais desafiadoras e lindas da educação: a singularidade de cada um, onde temos que

também como docentes aprender a lidar e levar em conta este fato no processo de ensino e aprendizagem, no ambiente educacional.

Se o docente tiver o desejo de ir mais afundo no estudo da obra pode sugerir que seus alunos pesquisem quem foi Fermat de como ele descobriu esses cálculos para a ótica geométrica, ou seja, fazendo isso seria conhecer sobre a história da ciência e sobre quem colaborou para seu desenvolvimento. Com certeza algo assim, vai agregar valor ao conhecimento do aluno, tanto do assunto de ótica como também da história de Fermat que pode ser um incentivo de que todos nós somos capazes de aprender matemática e física também, ou qualquer outra matéria contanto que se possua o desejo de querer aprender.

A interdisciplinaridade do conto envolve não somente a física e literatura, como também a filosofia, história, arte. Portanto, desenvolver uma atividade no âmbito educacional sobre esse conto, poderia até mesmo ser proposto por qualquer um desses professores. Mostrando assim que não existe como distinguir de maneira rígida uma matéria da outra, e muito menos que exista uma disciplina mais importante que outra, visto que "não há hierarquia de disciplinas e não há hierarquia de conhecimento. Todos os saberes possuem importância e a relação que um saber mantém com o outro é de natureza dialógica" (FERREIRA, 2007, p.21).

6 Considerações finais

Podemos observar que tal obra constitui alguns aspectos do conteúdo sobre o princípio de Fermat, portanto, sendo útil como um auxílio para o ensino de física. A física e a literatura em conjunto, abre possibilidades para que o discente reflita sobre a ciência de maneira crítica, trazendo assim uma educação com formação de qualidade. A proposta como um todo traz contribuições na linha de fomentar proposições didáticas que sigam esta linha de um ensino crítico e reflexivo. O conto aborda questões filosóficas e teológicas sobre esse princípio e apesar de não trazer diretamente a história da ciência sobre o conceito, acreditamos que vale a pena salientar esse assunto para com os alunos, trazendo à tona sobre a descoberta e a polêmica do princípio variacional ao ser publicado primeiramente por Maupertuis, e de como muitos cientistas dessa época encaravam a ciência. E também de como os cientistas atualmente enxergam isso.

Podemos verificar que o conto de ficção científica, pode ser um forte aliado no ensino de ciências. Mesmo que a proposta tenha sido feita para o uso formal, isso não se restringe a apenas dentro da sala de aula. Já que a divulgação científica atualmente, pode se dá de vários modos, seja pela literatura, filme - até mesmo os de animação - ou série, contanto que se possa ter algum meio de contato com tal obra. Acreditamos assim, que o processo de ensino e aprendizagem de física não se limita apenas ao conteúdo, mas que é algo muito mais amplo (PIASSI, 2007, p. 73-75), que foi nosso principal objetivo.

É comum se deparar com a opinião de algumas pessoas de que produzir ciência só serve apenas para impulsionar tecnologias. Mas não é apenas isso, ela é uma grande aliada do desenvolvimento, da saúde e principalmente dos avanços sociais. Pois ela transpassa nossas vivências diárias: das simples maneiras que nos comportamos no coletivo aos remédios para gripe que tomamos. A divulgação científica tem como papel mostrar que a ciência, não se deduz apenas englobando os aspectos cognitivos intelectuais da matemática e da física sendo aplicada em tecnologias, mas também de como ela se introduz na vida humana como um todo na sociedade.

Referências

- CHARAUDEAU, P. **Discurso das mídias**. São Paulo: Contexto, 2009.
- CHIANG, T. **História da sua vida e outros contos**. 1. ed. – Rio de Janeiro: Intrínseca, 2016.
- FEYNMAN R. P, R.B. Leighton R.B, e Sands M., **Lições de Física**. 1 ed. v.1 Porto Alegre: Bookman, 2008.
- FERREIRA, H. M. **A literatura na sala de aula: uma alternativa de ensino transdisciplinar**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Educação, UFRN, Rio Grande do Norte, 2007.
- FREIRE, P. **A importância do ator de ler: em três artigos que se completam**. 41 ed. São Paulo. Cortez. 2001b.
- GOMES, E.F. **O romance e a teoria da relatividade: A interface entre a literatura e ciência no ensino de física através do discurso e da estrutura da ficção**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2011.
- HALLIDAY D.; RESNICK R. e WALKER J. **Fundamentos de Física: óptica e física moderna**. Volume 4. 10ª edição. Editora LTC, 2016.
- HECHT, E. **Óptica**, Fundação Calouste Gulbenkain. 2 ed. Lisboa. 2002.
- HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 12 ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- LEMOES, N. A. **Mecânica analítica**. 2 ed. São Paulo: Livraria da física, 2013.
- MAUPERTUIS, P. L. M. **Essai de cosmologie**, Berlin, 1750.
- MAUPERTUIS, P. L. M. **Accord des différentes lois de la nature qui avaient jusqu'ici paru incompatibles**. Mémoires de l'Académie des Sciences de Paris. (1744).
- MARION J. B.; THORNTON, S.T. **Dinâmica clássica de partículas e sistemas**; 5º ed., Norte-Americana, Florida, 2011.
- MOREIRA, I.C. 1999. **Maupertuis (1698-1759) e o princípio de mínima ação**. Revista Brasileira de Ensino de Física, p. 172-186.
- PIASSI, L. P.C. **Contatos: A ficção científica no ensino de ciências em um contexto sociocultural**. Tese (Doutorado). Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2007.
- PIASSI, L. P. C.; GOMES, E. F.; RAMOS, J. E. F. **Literatura e cinema no ensino de física Interfaces entre a ciência e a fantasia**. 1. ed. São Paulo: Livraria da física, 2017.
- PIETROCOLA, M.; POGIBIN, A.; OLIVEIRA, R. C. A.; ROMERO, T. R. L. **Física em contextos: pessoal, social e histórico: volume 2**. 1 ed. São Paulo: FTD, 2011.
- RAMOS, J. E. F. **A ciência e o insólito: o conto de literatura fantástica no ensino de física**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2012.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. **Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica**. Investigações em Ensino de Ciências. Vol. 16, 2011.

SILVA, E. T. Ciência, leitura e escola. In: ALMEIDA, M. J. P. M.; SILVA, H. C. (orgs). **Linguagens, leitura e ensino da ciência**. Campinas – SP: Mercado de Letras, 1998, p. 121-130.

SNOW, C. P. **As duas culturas e uma segunda leitura: uma versão ampliada das duas culturas e a revolução científica**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 1995.

TAVARES, B. **Entrevista**. In: blog Agenda - Guia da Poesia. Disponível em: <http://blogagenda.blogspot.com/2014/07/entrevista-braulio-tavares.html>. Acesso em 18/01/2020.

TAVARES, B. Apresentação. In: CHIANG, T. **História da sua vida e outros contos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2016.

ZANETIC, J. **Física e arte: uma ponte entre duas culturas. Pro-posições**. Vol. 17. N. 1, 2006.