



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

**EXPLORANDO EPISÓDIOS HISTÓRICOS NO ENSINO DE  
FÍSICA: O CALOR COMO RADIAÇÃO EM FINS DO SÉCULO XVIII**

RILAVIA ALMEIDA DE OLIVEIRA

Campina Grande/PB

2014

RILAVIA ALMEIDA DE OLIVEIRA

**EXPLORANDO EPISÓDIOS HISTÓRICOS NO ENSINO DE  
FÍSICA: O CALOR COMO RADIAÇÃO EM FINS DO SÉCULO XVIII**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências e Matemática do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

**Orientadora: Ana Paula Bispo da Silva**

Campina Grande/PB

2014

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

O48e Oliveira, Rilavia Almeida de.

Explorando episódios históricos no Ensino de Física  
[manuscrito] : o calor como radiação em fins do século XVIII /  
Rilavia Almeida de Oliveira. - 2014.

98 p. : il. color.

Digitado.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e  
Matemática) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de  
Ciências e Tecnologia, 2014.

"Orientação: Profa. Dra. Ana Paula Bispo da Silva,  
Departamento de Física".

1. História da Ciência. 2. Ensino de Ciências. 3. Calor. I.  
Título.

21. ed. CDD 536.7

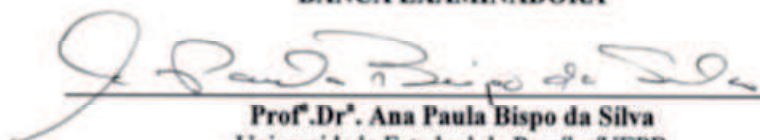
RILAVIA ALMEIDA DE OLIVEIRA


**EXPLORANDO EPISÓDIOS HISTÓRICOS NO ENSINO DE FÍSICA:  
O CALOR COMO RADIAÇÃO EM FINS DO SÉCULO XVIII**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências e Matemática do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Aprovado em: 01/12/2014.

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Paula Bispo da Silva**  
Universidade Estadual da Paraíba/UEPB  
Orientadora

  
\_\_\_\_\_  
**Prof.Dr. Alessandro Frederico da Silveira**  
Universidade Estadual da Paraíba/UEPB  
Examinador Interno

  
\_\_\_\_\_  
**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Katemari Diogo da Rosa**  
Universidade Federal de Campina Grande/UFCG  
Examinadora Externa

“Como poucos, eu conheci as lutas e as tempestades. Como poucos, eu amei a palavra liberdade e por ela briguei.”

Oswald de Andrade

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada, me dando força e coragem para superar os obstáculos.

À Professora Ana Paula Bispo. Companheira de caminhada desde o curso de Graduação em Física. Eu posso dizer que a minha formação, inclusive pessoal, não teria sido a mesma sem a sua pessoa. Obrigada por tudo Ana, em especial por todo apoio dado quando as meninas nasceram.

Aos Professores Alessandro Frederico e Katemari Rosa pela colaboração e pela gentileza de aceitar o convite para avaliação do meu trabalho.

Aos meus pais, irmãs e minha sogra, que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Aos amigos e colegas, pelo incentivo e apoio constantes. Em especial a Rafaelle, amiga com quem dividi dilemas e aflições da vida de uma mestranda. Agradeço também a Dillane e Edilene, minhas colegas de trabalho que sempre me apoiaram quando eu precisei.

À Marcelo, meu esposo, pessoa com quem amo compartilhar a vida. Obrigada pelo carinho, pela paciência e pela capacidade de compreender minhas ausências decorrentes da vida acadêmica.

Agradeço também as minhas filhas, Fernanda e Rafaela, que embora não tivessem conhecimento disto, me iluminaram de maneira especial, me trazendo paz e alegria nas horas de tristeza.



## RESUMO

A pesquisa que realizamos envolvendo a relação entre História e Filosofia da Ciência e Ensino de Ciências parte do pressuposto que estes dois campos podem estar relacionados em quatro níveis: conceitual, epistemológico, sócio-cultural e de motivação (SEROGLOU e KOUMARAS, 2001; SEKER, 2012). Dentre estes níveis, o presente trabalho buscou explorar um episódio histórico em que fossem destacados aspectos conceituais e epistemológicos; mais especificamente as primeiras impressões sobre a relação entre espectro de cores da luz e a emissão de calor radiante, e os experimentos que buscaram verificar esta relação. Neste intuito, estudamos em detalhes os experimentos de William Herschel (1738-1822) sobre calor radiante, mais especificamente seus experimentos nos quais investigava o poder de aquecer e iluminar das diferentes cores e verificou a existência de radiação além do espectro visível e sua construção dos espectros de luz e de calor. A partir das hipóteses elaboradas por Herschel e os resultados a que chega, propõe-se a discussão de aspectos conceituais como a constituição do espectro de luz, os fenômenos de refração e reflexão da radiação infravermelha e as medidas de intensidade luminosa. Aspectos epistemológicos e metodológicos também são considerados como a questão causa-efeito, bem como a precisão de medidas e as discordâncias que o experimento gerou na época. Destaca-se que mesmo contendo uma série de limitações do ponto de vista experimental e metodológico, o experimento de Herschel é considerado como crucial na detecção da radiação infravermelha. Para o material educacional, adotamos o estudo de caso histórico (STINNER, et. al., 2003), elaborando um material do tipo paradidático em que contextualizamos as atividades de Herschel, apresentamos alguns de seus experimentos sobre calor radiante e uma possibilidade de reprodução didática e destacamos as consequências de seus resultados em tecnologias atuais que envolvem radiação infravermelha.

**Palavras chave:** História da Ciência, Ensino de Ciências, Calor e Radiação.



## ABSTRACT

The study we conducted involving the relationship between History and Philosophy of Science and Science Teaching assumes that these two fields can be related at four levels: a conceptual, an epistemological, a socio-cultural and a motivation level (SEROGLOU and KOUMARAS, 2001; SEKER, 2012). Of these levels, this study aimed to explore a historical episode in which the conceptual and epistemological aspects were highlighted; more specifically, the first impressions on the relationship between the color of the light spectrum and the emission of radiant heat, and the experiments that sought to verify this relationship. To this end, we study in detail the experiments carried out by William Herschel (1738-1822) on radiant heat, more precisely the experiments in which he investigated the power of heat and light of different colors and verified the existence of radiation beyond the visible spectrum and its construction of spectra of light and heat. Based on the hypotheses developed by Herschel and the results he obtained, we propose the discussion of conceptual issues, such as the constitution of the light spectrum, the phenomena of refraction and reflection of infrared light and the measurements of light intensity. Epistemological and methodological aspects are also taken into account, such as the question of cause and effect, as well as the accuracy of measurements and the disagreements emerged by the experiment at the time. It is noteworthy that even containing a number of limitations from the experimental and methodological point of view, the experiment by Herschel is regarded as crucial in the detection of infrared radiation. As for the educational material, we adopted the historical case study (STINNER, et. al., 2003), by developing a paradidactic material in which we contextualize the activities of Herschel; present in detail one of his experiments and a possibility of didactic reproduction; and highlight the consequences of these results in current technologies involving infrared radiation.

**Key words:** History of Science – Science Teaching – Heat and Radiation

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Aparato utilizado por Herschel para investigar o poder de aquecer das diferentes cores prismáticas. Fonte: HERSCHEL (1800a, p. 539).....	32
Figura 2: Aparato utilizado por Herschel para detectar radiação além do espectro visível. Fonte: HERSCHEL (1800b, p. 284).....	40
Figura 3: Representação do espectro de calor A,S,Q,A e do espectro de luz G,R,Q,G. Fonte: HERSCHEL (1800d, p. 539).....	47
Figura 4: Espectro Eletromagnético.....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Trabalhos de Herschel sobre calor radiante.....	29
Tabela 2: Resultados dos experimentos realizados verificando o aquecimento de diferentes cores do espectro prismático, utilizando o termômetro N°1 como variável e o termômetro N°2 como padrão.....	33
Tabela 3: Resultados dos experimentos realizados verificando o aquecimento de diferentes cores do espectro prismático, utilizando o termômetro N°2 como variável e o termômetro N°3 como padrão.....	34
Tabela 4: Resultado do aquecimento além do vermelho visível.....	41
Tabela 5: Resultados dos experimentos que visam determinar onde ocorre o máximo poder de aquecimento.....	42
Tabela 6: Relação das propriedades da luz e as proposições similares sobre calor investigadas por Herschel nos trabalhos 3 e 4.....	43

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1:	Relação entre o poder de aquecimento das diferentes cores.....	34
------------	--	----

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. A HISTÓRIA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIAS.....</b>	<b>16</b>
2.1. Controvérsias sobre HFC no Ensino.....	18
2.2. Por que escolher este episódio histórico?.....	21
<b>3. EPISÓDIO HISTÓRICO: O CALOR COMO RADIAÇÃO EM FINS DO SÉCULO XVIII .....</b>	<b>23</b>
3.1. Resgatando o contexto histórico .....	23
3.2. Os experimentos de Herschel sobre Calor Radiante .....	28
3.2.1. Um pouco sobre William Herschel .....	28
3.2.2. O poder de aquecimento e iluminação dos raios coloridos.....	31
3.2.3. Confirmando a existência dos raios invisíveis .....	39
3.2.4. A Relação Luz X Calor .....	42
3.3. Algumas considerações sobre o trabalho de Herschel.....	50
<b>4. ASPECTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>58</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>64</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>66</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A qualidade do ensino de ciências, bem como de outras áreas de conhecimento, vem sendo objeto de debates ao longo de várias décadas entre as pesquisas da área de educação. O ensino tradicional de ciências, em todos os níveis de escolaridade, tem se mostrado ineficaz, seja do ponto de vista dos estudantes e professores, quanto das necessidades da sociedade.

Dentre as alternativas apresentadas como forma de tentar melhorar o ensino de ciências, diversos pesquisadores conjecturam que a inserção da História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino de ciências, pode contribuir sob diversos aspectos, seja na compreensão da Natureza da Ciência (NdC) ou mesmo como auxílio na compreensão dos conceitos científicos.

Nesta perspectiva de inserção da HFC no ensino de ciências, temos que episódios históricos bem explorados, tanto no contexto da fundamentação teórica em si, quanto no que envolve o contexto em que a mesma foi desenvolvida, apresentam pontos em que é permitida uma conciliação entre os interesses de professores e historiadores quanto a uma melhor compreensão da NdC. Ainda, episódios históricos que envolvem o estabelecimento de teorias, contribuem para uma visão interdisciplinar das ciências e também para mostrar questões éticas e sociais envolvidas. Através da análise histórica desses episódios é possível mostrar que a divisão em ramos das ciências naturais (como, por exemplo, a física dividida em termodinâmica, mecânica, estática, etc.; a biologia dividida em botânica, fisiologia, etc.) é apenas uma questão prática, pois as ciências naturais são um conjunto mais amplo, e estão ligadas com a matemática de uma forma mais complexa do que a simples utilização de equações.

Por outro lado, uma distorção do episódio histórico pode caracterizar uma pseudo-história e levar o aluno a uma ideia errada sobre o fazer científico e o papel da ciência na sociedade (ALLCHIN, 2006). Desta forma, é imprescindível que haja uma pesquisa aprofundada que possibilite uma análise da contribuição de episódios históricos para o ensino, bem como uma produção de material em HFC que apresente as características necessárias para que professor e aluno tenham uma melhor compreensão do conhecimento científico, bem como de sua natureza.

Baseados na discussão acima, nosso trabalho tem como proposta buscar respostas aos seguintes questionamentos: é possível contribuir para o estudo de conceitos tendo

como ponto de partida um episódio histórico? De que forma esse episódio precisa ser adaptado? Como explorar a relação entre diferentes conceitos num mesmo estudo teórico?

A pesquisa que realizamos envolvendo a relação entre História e Filosofia da Ciência e Ensino de Ciências parte do pressuposto que estes dois campos podem estar relacionados em quatro níveis: conceitual, epistemológico, sócio- cultural e de motivação (SEROGLOU e KOUMARAS, 2001; SEKER, 2012). Dentre estes níveis, o presente trabalho buscou explorar um episódio histórico em que fossem destacados aspectos conceituais e epistemológicos; mais especificamente as primeiras impressões sobre a relação entre espectro de cores da luz e a emissão de calor radiante, e os experimentos que buscaram verificar esta relação.

Diante do exposto, objetivamos desenvolver neste trabalho uma narrativa histórica sobre o Calor como Radiação em fins do século XVIII, através da elaboração de um material do tipo paradidático em que contextualizamos as atividades de Herschel, apresentamos alguns de seus experimentos sobre calor radiante e uma possibilidade de reprodução didática e destacamos as consequências de seus resultados em tecnologias atuais que envolvem radiação infravermelha.

Neste intuito, fizemos uma busca e análise bibliográfica de fontes primárias e secundárias que possibilitaram compreender o episódio histórico e seus aspectos metodológicos e epistemológicos. Desse modo, foi feita uma revisão bibliográfica de modo a delimitar o contexto científico da época, bem como os principais pesquisadores que defendiam o calor como radiação nessa época, centrando-se numa análise mais aprofundada dos experimentos de William Herschel (1738-1822) sobre calor radiante, mais especificamente em seus experimentos nos quais investigava o poder de aquecer e iluminar das diferentes cores e verificou a existência de radiação além do espectro visível e na sua construção dos espectros de luz e de calor.

A partir das hipóteses elaboradas por Herschel e os resultados a que chega, propõe-se no material paradidático a discussão de aspectos conceituais como a constituição do espectro de luz, os fenômenos de refração e reflexão da radiação infravermelha e as medidas de intensidade luminosa. Aspectos epistemológicos e metodológicos também são considerados como a questão causa-efeito, bem como a precisão de medidas e as discordâncias que o experimento gerou na época. Deste modo, após o estudo do episódio histórico, partimos para a construção do material paradidático, considerando as diretrizes de Stinner et. al. (2003) que propõem o uso de uma abordagem contextual, na qual o

contexto do problema deve ser trabalhado, de modo a buscar o engajamento e a imaginação dos estudantes.

O conjunto de diretrizes apontadas por Stinner et. al. (2003) contribuem na elaboração dos estudos de casos históricos. Sua abordagem contextual, pode ser utilizada em vários modos de inserção da história (vinhetas históricas, casos históricos, etc.).

O presente trabalho encontra-se dividido em cinco Capítulos. No Capítulo 2 trazemos uma discussão em torno das pesquisas que tratam a inserção da HFC no ensino de ciências.

No Capítulo 3, o episódio histórico estudado é apresentado. Percorre-se desde o contexto científico da época até a análise mais aprofundada dos experimentos de William Herschel (1738-1822).

Os aspectos metodológicos da pesquisa são apresentados no Capítulo 4. Neste, detalha-se a sequência adotada, bem como as estratégias que foram utilizadas para a elaboração do produto, além de explicitar no que consiste o nosso material paradidático.

O Capítulo 5 foi reservado para as considerações finais.



## 2. A HISTÓRIA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIAS

A educação científica de qualidade tem como um dos principais objetivos, o desenvolvimento do pensamento crítico e criativo, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual do aluno. O ensino deve preparar o estudante para lidar com as inovações científicas e tecnológicas, além de levá-lo a compreender a articulação entre os conteúdos científicos e seus usos sociais. Além da preparação acadêmica do aluno centralizada em conteúdos especializados das ciências, busca-se a compreensão contextualizada desses saberes, inscritos na complexidade da vida humana. A escola precisa ensinar a compreender o que é ciência, qual a sua história e a quem ela se destina (BRASIL, 2000; BRASIL, 2013).

Entre os princípios e as finalidades que orientam o Ensino Médio, as Novas Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica também apontam que os estudantes devem ser levados a compreender os fundamentos científicos e tecnológicos presentes na sociedade contemporânea, relacionando a teoria com a prática (BRASIL, 2013).

Na busca de elementos para se contextualizar o ensino, a História e Filosofia da Ciência (HFC) tem sido indicada como uma estratégia didática que pode trazer benefícios em vários níveis. A HFC é considerada como uma estratégia pedagógica apropriada para discutir certas características da Natureza da Ciência (NdC) que poderiam tornar as aulas mais interessantes, curiosas, instigantes e dinâmicas, ao mostrar o processo de transformação pelo qual passou o conhecimento científico. Muitas vezes próximo àqueles processos desejados pelos professores para a superação dos obstáculos epistemológicos e didáticos dos estudantes, destacando a importância do uso da história da ciência quando associada ao ensino contextualizado.

Há vários anos, diversos autores desenvolvem suas pesquisas no sentido de discutir a inclusão da História e Filosofia da Ciência no ensino de ciências. Mostraremos a seguir a opinião de alguns autores a respeito da inclusão da HFC no ensino.

Martins (1990) já afirmava que a HFC eleva o nível cultural dos alunos. A HFC desperta o interesse dos estudantes para o estudo e contribui para a compreensão de conteúdos. Porém, se a História da Ciência for mal utilizada no ensino, como por exemplo, apresentando apenas uma cronologia de fatos, mencionando alguns nomes importantes, usando anedotas ou ainda para impor doutrinas, não contribui para a compreensão de conteúdos e ainda proporciona uma visão distorcida e mistificada da ciência e dos

cientistas (MARTINS, 1990). Para Peduzzi (2001) a ausência ou o mau uso da HFC leva o estudante a pensar que a ciência surge de um trabalho linear e cumulativo, ignorando-se assim as grandes crises da construção conhecimento científico.

A implantação da HFC no ensino de ciências pode tornar as aulas mais próximas da realidade e abrir espaço para o pensamento crítico, de forma que haja uma interação e não apenas se apresente as fórmulas prontas ao alunado. A inclusão da HFC no ensino pode levar os estudantes a serem capazes de relacionar uma determinada teoria ou pensamento científico com seu contexto moral, cultural e histórico; além de obter conhecimento sobre as mudanças no pensamento científico (MATTHEWS, 1995).

Ao analisar o comportamento de estudantes em sala de aula, quando eles desenvolvem uma tarefa analisando episódios históricos problemáticos, Carvalho e Vannucchi (2000) afirmam ser possível perceber que os estudantes discutem sobre aspectos da ciência, elevando seu nível cognitivo e seu poder de argumentação.

Moura (2012) afirma que diferentes tipos de abordagens podem ser trabalhados tendo como base conteúdos históricos, seja no sentido de ensinar conceitos científicos, trabalhar questões sobre a NdC ou mesmo proporcionar a formação cultural de professores e alunos. A História da Ciência embasa a compreensão de como a ciência é produzida, oferecendo uma melhor compreensão da relação entre ciência, cientistas e sociedade e permitindo o desenvolvimento de um senso crítico-transformador mais aguçado sobre o modo de fazer ciência e sua influência social e cultural, defende ele.

Stinner et. al. (2003) recomendam uma abordagem eclética para inserção da HFC no ensino de ciência. Eles sugerem a apresentação e discussão de vinhetas, bem como o uso de estudos de caso históricos.

Stinner et. al. (2003) trazem o estudo de caso histórico como uma das formas de introduzir a História da Ciência no ensino. Este, pode ser apresentado sob diferentes perspectivas: i) Contexto histórico: nesta perspectiva, as ideias científicas do período são apresentadas e correlacionadas com os principais fatos científicos do período; ii) Experimentos e ideias principais: as ideias principais e o suporte empírico que é central para o estudo de caso são apresentados; iii) O estudo de caso é utilizado de forma a mostrar a confrontação de ideias, através de debates históricos; narrativas que mostrem a interdisciplinaridade envolvida no episódio histórico ou pela dramatização, com a realização de peças de teatro que apresentem os diferentes pontos de vista coexistentes.

Podemos perceber que apesar de divergirem em alguns pontos, a opinião dos pesquisadores aponta que a HFC pode sim contribuir para o ensino de ciências, como também que o mau uso desta contribui para a formação de visões distorcidas acerca do conhecimento científico.

## 2.1. Controvérsias sobre HFC no Ensino

O reconhecimento da importância da HFC não é suficiente para que a mesma esteja presente nas salas de aula. Se por um lado é consenso que a HFC pode contribuir para a formação crítica do aluno além de ser uma abordagem que foge da rotina de livros-texto e enriquece as aulas com materiais que podem ser adequados aos estudantes (MARTINS, 1990; FORATO, 2009), em outra vertente nos deparamos com alguns problemas a serem superados para a efetiva inclusão da HFC na prática docente.

Dentre os problemas apresentados temos a questão do *como fazer* e de *como utilizar* materiais com essa abordagem. Além de outros problemas como: a falta de formação ou habilidade dos professores em trabalhar com conteúdos históricos, a falta de material didático adequado, a falta de tempo, o engessamento dos currículos escolares, etc. (FORATO, MARTINS e PIETROCOLA, 2012).

É necessário, além do conhecimento científico, buscar adquirir requisitos básicos, tais como, conhecimento linguístico, uma boa leitura, um pouco de curiosidade, bastante cautela para evitar fazer afirmações generalizadas e principalmente o abandono da presunção (MARTINS, 2001). O professor deve ter conhecimento de história geral, de física, de filosofia, de sociologia e também de história da ciência e da tecnologia para inserir uma abordagem histórica no ensino, defendem Quintal e Guerra (2009).

Neste sentido, Silva (2013) aponta que:

Associar a pesquisa historiográfica à pesquisa educacional para elaborar materiais que permitam a discussão de conceitos em ciências e de aspectos de natureza epistemológica na sala de aula, não é uma tarefa trivial, e envolve diferentes competências. Quando esta associação é realizada ainda na formação do professor, como complementar, através da iniciação à pesquisa, pode proporcionar-lhes autonomia e segurança na elaboração de suas próprias aulas, ao mesmo tempo em que acaba resultando em profissionais mais críticos de seu próprio fazer e da ciência a que se referem (SILVA, 2013, p. 401).

Em outra vertente, Seker (2012) aponta que para superar essas dificuldades, professores de ciência precisam conectar seu conhecimento de conteúdo pedagógico com conhecimento de História da Ciência, sugerindo quatro níveis para conectá-los: Nível Conceitual, Nível Epistemológico, Nível Sociocultural e Nível de Interesse, que visam ajudar professores de ciência a inserir a História da Ciência no ensino de ciência. Os professores devem ter uma conexão entre conhecimento do conteúdo pedagógico e a História da Ciência, bem como saber empregar estratégias instrucionais adequadas no uso da História da Ciência no Ensino, defende ele.

Cada nível tem subníveis de acordo com os tipos de conhecimento histórico, abordagem pedagógica e objetivos educacionais: Nível Conceitual (ideias similares, pares opostos, cronologia, contexto de descoberta), Nível Epistemológico (Método e Metodologia), Nível sociocultural (Ciência e Política, Sociedade Científica, História da Tecnologia), Nível de Interesse (cientista como pessoa, imagem do cientista, revistas).

Entretanto, não se espera que os professores adquiram, em sua formação inicial, todas as competências necessárias para inclusão da HFC no ensino, bem como não se pode esperar que o livro didático o faça, uma vez que estes trazem a HFC com muita superficialidade, o que leva professores e alunos a adquirirem uma visão distorcida da História da Ciência. Deste modo, é importante a elaboração de material complementar, que auxilie na inclusão da HFC no ensino.

Ao utilizar a HFC no ensino de Ciências, o professor deve questionar seu alunado, fornecendo subsídios para que reflitam sobre suas concepções, suscitando o desejo de aprender. É importante que os alunos conheçam a forma como os cientistas abordam os problemas, as características mais notáveis de sua atividade, os critérios de validade e aceitação das teorias científicas (GIL-PÉREZ, 2003).

A dinamicidade do fazer científico deve ser destacada, bem como a percepção de que a Física é um conhecimento historicamente construído, com a colaboração de vários pesquisadores ao longo do tempo (FORATO, 2009). O professor deve apresentar a Física pelo processo e não pelo produto. Nesse sentido, o contexto cultural no qual foi desenvolvido pode revelar aspectos sobre a construção do conhecimento científico (MEDEIROS e BEZERRA FILHO, 2000).

No que concerne a produção de materiais adequados, Torres e Badillo (2007) trazem que uma análise histórica deve conter comparações críticas que tragam: os suportes

que embasaram o desenvolver da atividade científica; as propostas já superadas, mas que foram aceitas na sua época; o exame de texto de diferentes autores.

Deformações encontradas em narrativas históricas, são apontadas por diversos autores. Segundo Forato (2009), a historiografia denomina distorções os vários enfoques que uma abordagem problemática apresenta com relação a um episódio histórico, ao interpretá-lo. Neste sentido, um dos erros mais frequente é o anacronismo. Esse erro ocorre quando se interpreta o passado sem respeitar seu contexto histórico, analisando-o por meio de regras ou modelos atuais. Assim se avalia o passado de maneira preconceituosa, pois se interpreta episódios históricos com valores, ideias e crenças atuais.

Deve-se ter cuidado em não reproduzir narrativas anacrônicas da HFC no ensino de ciências, pois elas levam ao ensino uma visão equivocada da NdC, além de se constituírem como um desestímulo ao pensamento crítico. Como afirma Forato (2011), nas narrativas históricas anacrônicas:

São ignorados todos os fatores conceituais da ciência e os elementos contextuais de cada cultura que estiveram envolvidos no desenvolvimento de um determinado conhecimento científico. Inúmeros fatores, como, por exemplo, o papel dos erros e das controvérsias, a contribuição do debate entre diferentes teorias, os diversos pensadores que trabalharam no assunto, a influência de fatores sociais, políticos, econômicos, ou quaisquer outros que possam ter contribuído para o desenvolvimento da ciência, são simplesmente ignorados (FORATO, 2011, p. 13).

Por fim, queremos destacar a importância da inclusão da HFC no Ensino de Ciências, e especialmente na formação dos professores de ciências, na medida em que um conhecimento da HFC permite uma melhor compreensão do conhecimento científico, bem como da NdC.

(...) para que o professor possa estar preparado para utilizar a História da Ciência em sala de aula, deve iniciar o contato com tal matéria ainda durante sua formação. Trata-se não só de conhecer episódios históricos relevantes para o currículo da Educação Básica, como também a elaboração de textos e outros materiais que permitam explorar tais episódios. Também é necessário que esse futuro professor tenha conhecimento epistemológico para que os materiais elaborados não distorçam o fazer científico (SILVA, 2013, p. 399).

Como mencionamos anteriormente, torna-se muito importante a inclusão da HFC no ensino de ciências, que entre outros benefícios, proporciona um melhor entendimento do conhecimento científico.

Atentando para importância da inclusão da HFC no ensino e para a necessidade de produção de material complementar que auxilie nesta inserção, estudamos o episódio histórico do desenvolvimento do conceito de calor como radiação em fins do século XVIII, que permite explorar vários conceitos de física interligados por um objetivo comum que são os primeiros estudos envolvendo radiação.

Assim, dentro do que propõem Stinner et. al. (2003) para inserção de estudo de caso histórico no ensino, exploramos um episódio histórico em que são destacados aspectos conceituais e epistemológicos; mais especificamente as primeiras impressões sobre a relação entre espectro de cores da luz e a emissão de calor radiante, e os experimentos que buscaram verificar esta relação.

## **2.2. Por que escolher este episódio histórico?**

Escolhemos trabalhar o episódio histórico do desenvolvimento do conceito de calor como radiação em fins do século XVIII, pois o mesmo é muito rico sob diversos aspectos. No que concerne à História da Ciência, temos um episódio histórico que ocorreu em um período de diversas mudanças e que está relacionado a controvérsias sobre a natureza da luz e a natureza do calor. Deste modo, percebe-se através do estudo deste episódio, que os diversos campos da ciências estão correlacionados e influenciam no desenvolvimento um do outro. Neste caso, como veremos adiante, os estudos sobre óptica e astronomia influenciaram os estudos de Herschel e seus contemporâneos.

Em termos de conteúdos, o episódio histórico escolhido também se demonstra muito rico, pois, permite a discussão de aspectos conceituais como a constituição do espectro de luz, os fenômenos de refração e reflexão da radiação infravermelha e as medidas de intensidade luminosa. Aspectos epistemológicos e metodológicos também são discutidos como a questão causa-efeito bem como a precisão de medidas e as discordâncias que o experimento gerou na época.

Outro fator que influenciou a escolha deste episódio histórico e que vale ser ressaltado é a falta de material em português disponível na literatura científica. Nesse sentido, pretende-se contribuir construindo um material paradidático que retrate o estudo da radiação a partir do estudo histórico do desenvolvimento do conceito de calor como radiação em fins do século XVIII.

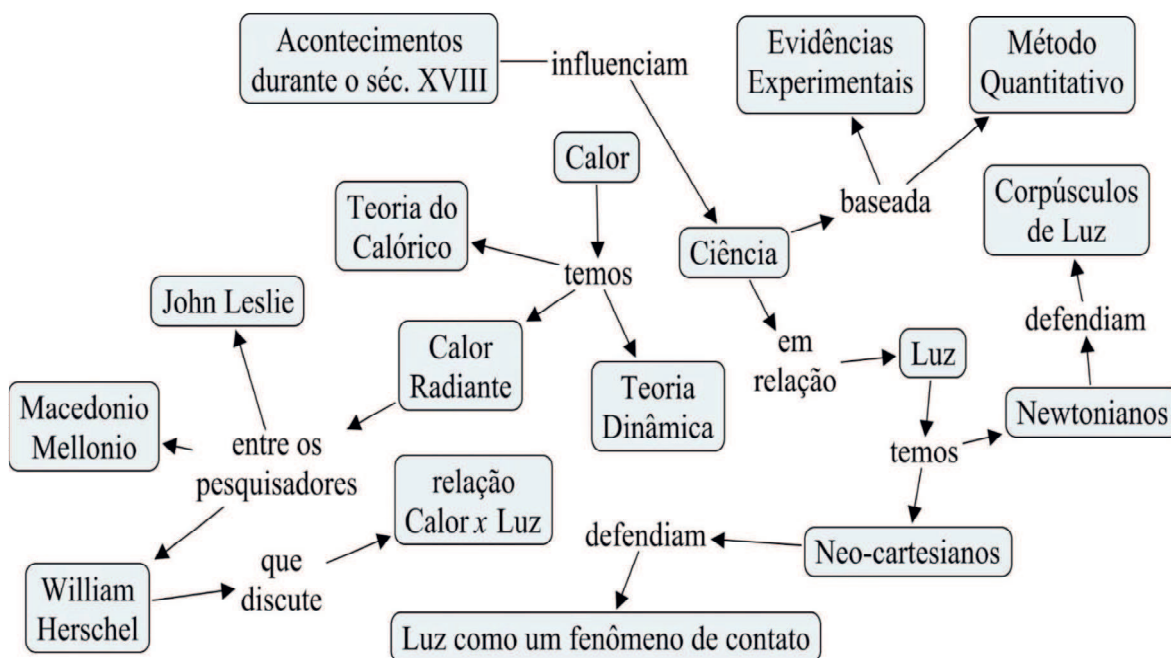
Salientamos que nosso trabalho está inserido no projeto do CNPq: *História e Filosofia da Ciência e Ensino: da Pós-Graduação à Educação Básica*, que tem como proposta construir duas propostas multifacetadas, tendo como base os conteúdos curriculares da Educação Básica (Ensino Médio). A ideia é concentrar em temas que possibilitem: explorar episódios históricos ricos do ponto de vista conceitual e epistemológico, interdisciplinaridade, a exploração de alguns aspectos de natureza da ciência. Os temas são: 1) Calor e energia: conceitos e personagens (tema que este projeto está vinculado) 2) Eletricidade e magnetismo: as origens e a união. Dessa maneira, a participação no projeto também influenciou na escolha do episódio histórico.

### 3. EPISÓDIO HISTÓRICO: O CALOR COMO RADIAÇÃO EM FINS DO SÉCULO XVIII

Neste capítulo, apresentaremos o estudo do episódio histórico do calor como radiação em fins do século XVIII. No intuito de proporcionar um melhor entendimento da temática, trazemos na primeira seção um mapa conceitual que objetiva demonstrar a complexidade envolvida.

Posteriormente, trazemos uma análise mais detalhada dos experimentos de William Herschel (1738-1822) sobre calor radiante, mais especificamente seus experimentos nos quais investigava o poder de aquecer e iluminar das diferentes cores e verificou a existência de radiação além do espectro visível e sua construção dos espectros de luz e de calor.

#### 3.1. Resgatando o contexto histórico





Como sabemos, a ciência não se desenvolve descontextualizada da sociedade na qual está inserida. Heilbron (2003) coloca que “o estudo da natureza depende da interação de personalidades individuais, circunstâncias locais, e forças sociais de grande escala, as quais, se tivessem sido diferentes de como foram, a ciência não seria como é” (HEILBRON, 2003, p. 370). Embora não consigamos relacionar diretamente o contexto socioeconômico do final do século XVIII com as pesquisas de William Herschel, é interessante procurarmos entender o que estava acontecendo em termos de contexto socioeconômico e científico em fins do século XVIII.

Em fins do século XVIII, estamos em um período de transição para a ciência moderna. O período anterior, chamado de Revolução Científica, foi marcado pela rejeição e criação de sistemas elaborados de filosofia natural, com o início da exploração instrumental da natureza, e surgimento de instituições que encorajavam a busca do conhecimento da natureza.

O período de transição é marcado pelo espírito quantitativo. Entre 1770 e 1830 novos tipos de especialistas, quantificaram partes da física, sistematizaram a química, fizeram uma história natural comparativa, refutaram a Naturphilosophie, produziram instrumentos baseados na ciência e contribuíram para o surgimento de revistas profissionais. Durante o período de transição, sociedades profissionais para disciplinas científicas individuais apareceram pela primeira vez, assim como o modelo de institutos de tecnologia posteriores (como a Escola Politécnica), o sistema métrico, a Universidade de Berlim, e os primeiros lobbies baseados na ciência como a Associação Britânica para o Avanço da Ciência (HEILBRON, 2003).

Nesta época, também ocorreram a Revolução Francesa e a Revolução Industrial. Para Hobsbawn (2010), a ciência se beneficiou do estímulo dado à educação científica e técnica. Ele coloca que a revolução francesa transformou a educação técnica e científica de seu país, com a criação da Escola Politécnica – centro de grandes matemáticos e físicos, em 1795. A escola Politécnica teve imitantes na Alemanha e Bélgica, mas não na Inglaterra, lugar onde Herschel desenvolveu seus trabalhos. Porém, a imensa riqueza da Inglaterra proporcionou a criação de laboratórios particulares e a pressão geral de pessoas inteligentes da classe média por uma educação técnica e científica obteve bons resultados. Como exemplo, temos o Conde Rumford, que fundou a *Royal Institution*, em 1799.

A era revolucionária fez crescer o número de cientistas e eruditos e estendeu a ciência em todos os seus aspectos. O universo geográfico das ciências também se alargou.

O progresso do comércio e o processo de exploração abriram novos horizontes do mundo ao estudo científico. A ciência refletia a ascensão das culturas nacionais fora da Europa ocidental (HOBBSAWN, 2010). Entretanto, Hobsbawn (2010) coloca que as clássicas ciências físicas não foram revolucionadas. A revolução que transformou a astronomia e a física em ciências modernas ocorrera no século XVII.

Durante o século XVIII, temos o desenvolvimento da mecânica: estudo do achatamento da Terra, análise do movimento dos planetas, descoberta de Urano, novo formalismo matemático parecido com o atual, estudo de corpos rígidos e sistemas de partículas e também muitas pesquisas em eletricidade.

Com relação aos estudos sobre óptica do século XVIII, é possível separá-los em várias perspectivas. Uma delas preocupava-se mais com os raios e os fenômenos associados a eles, como teorias da visão, óptica geométrica, etc. Ainda que neste caso também houvesse interesse dos filósofos na discussão da natureza da luz, não era esse o foco dos estudos, nem causava grande diferença no estudo dos efeitos.

Em outra perspectiva, tínhamos pesquisadores discutindo a natureza da luz, alguns considerando a luz como uma onda, outros como partícula.

Darrigol (2012) separa o século XVIII em duas categorias de natureza da luz:

- 1) Newtonianos – aceitam os corpúsculos de luz, importam importantes conceitos da óptica de Newton, mas não necessariamente aceitam todas especulações.
- 2) Neo-cartesianos – perseguem o ideal de Descartes de reduzir todas as interações a contato mecânico, mas não aceitam todos os detalhes da teoria.

Haveria ainda um terceira categoria que seriam os que consideravam a luz como um fluido imponderável, destacando aspectos químicos da luz e usando uma filosofia qualitativa (DARRIGOL, 2012, p. 110).

A óptica baseada nos raios de luz foi possivelmente a mais produtiva no século XVIII. Para o tipo de discussão óptica feita, não era preciso, ou pelo menos os filósofos naturais acreditavam que não, fazer hipóteses sobre a natureza da luz.

No que concerne ao Calor, temos o desenvolvimento da termometria, calorimetria, desenvolvimento de termômetros, calorímetros, desenvolvimento do conceito de calor específico e calor latente. O calor era geralmente pensado como um fluido (o calórico) que passava de um objeto para outro, a chamada teoria do calórico. Entretanto, também tínhamos estudiosos defendendo a teoria dinâmica do calor, que pressupunha o calor como vibração de partículas dos corpos e alguns estudiosos estudando a natureza radiante do

calor, ou seja, a propagação do calor através de raios, como a luz. Alguns desses últimos, concentraram-se na relação calor  $\times$  luz, como é o caso de William Herschel, do qual fizemos uma análise mais detalhada de seus trabalhos.

Em fins do século XVIII e início do século XIX, apesar de quase todos os filósofos naturais continuarem acreditando que o calor era uma substância (calórico), Conde Rumford (1753 - 1814), Humphry Davy (1778 - 1829) e Thomas Young defenderam a teoria dinâmica do calor, segundo a qual, calor é um tipo de vibração interna de um corpo (WATANABE, 1962). Rumford, Davy e Young defendiam essa posição apoiados em evidências experimentais. Rumford, por exemplo, desenvolveu vários experimentos sobre o estudo do calor, luz e balística. Suas investigações científicas envolviam trabalho em radiação de calor de diferentes tipos de superfícies, medida do equivalente mecânico do calor, estudos da transferência de calor através do vácuo, experimentos sobre a teoria do calórico (STINNER, et. al., 2003).

Davy, em seu trabalho de 1799, discutiu a natureza do calor. Ele tentou refutar a teoria do calórico, usando o método denominado pelos matemáticos de redução ao absurdo. Em seus experimentos, Davy concluiu que calor é uma vibração dos corpúsculos de corpos e que os corpos tornam-se expandidos pela fricção, devido à vibração de seus corpúsculos causada pela fricção. Contudo, a teoria e experimentos de Rumford e Davy não foram suficientes para derrubar a teoria do calórico (WATANABE, 1962).

A teoria do fluido ou calórico manteve sua supremacia durante o século XVIII, em grande parte devido à teoria de emissão de Newton (1643 - 1727) que adotava características corpusculares para a luz. Por outro lado, a teoria ondulatória da luz de Huyghens (1626-1695) também possuía seus adeptos, mas não se encaixava muito bem ao tentar explicar como a luz poderia aquecer, ou “fornecer calor”. Outro ponto para aceitação da teoria do calórico era que ela oferecia uma explicação facilmente compreensível do fenômeno do calor e a teoria dinâmica do calor não era tão facilmente compreensível nem aplicável, pois fazia uso de uma matemática mais avançada.

Thomas Young, por outro lado, estava imerso no estudo das ondas. Young fez analogias entre muitos fenômenos do som e luz, desenvolvendo uma teoria ondulatória para luz. Ele também apresentou várias semelhanças entre os fenômenos de calor, luz e som. Young concordou com Rumford acerca da impossibilidade da teoria material do calor e sustentou que o calor consistia em vibrações de partículas de corpos. Young defendia a posição de que luz e calor diferem apenas na frequência de suas vibrações. Para ele, as

vibrações menos frequentes e mais fortes proporcionam calor. Enquanto, as vibrações mais frequentes ocasionam luz.

Entre os pesquisadores que defenderam o calor como uma forma de radiação, ou seja, algo que se propaga através de raios (retas que se propagam a partir de um determinado ponto), temos Marc Auguste Pictet (1752-1825), que em 1790, notou que o termômetro colocado no foco de um espelho côncavo registrou imediatamente um aumento na temperatura quando um corpo quente era colocado no foco de um segundo espelho, coaxial com o primeiro, mas a uma longa distância deste. Desse modo, ele defendia que calor radiante deve se propagar em linhas retas em uma velocidade muito grande, talvez igual a velocidade da luz (BARNETT, 1946). James Hutton (1726 - 1797), em 1794, também identifica luz com calor radiante. Segundo Hutton, o corpo quente converte calor em luz que na absorção torna-se calor novamente (BARNETT, 1946).

Ao desenvolver trabalhos no intuito de aperfeiçoar seus telescópios, durante o ano de 1800, Herschel testou diferentes combinações de lentes coloridas para verificar quais delas permitiam observar o Sol sem expor o olho a uma elevada sensação de calor. Ele pressupunha que o poder de aquecer e iluminar eram diferentes para os vários raios coloridos e percebeu, através de seus testes, que algumas dessas combinações de lentes davam a sensação de calor, embora passasse pouca luz; enquanto outras davam muita luz com pouca sensação de calor. Herschel também realizou experimentos no intuito de verificar se as mesmas propriedades dos raios de luz são observadas nos raios de calor.

Em meio a esses experimentos, Herschel foi o primeiro a noticiar ter detectado e isolado radiação além do visível, em 1800, seguindo sua descoberta com uma série de investigações buscando verificar se luz é essencialmente diferente de calor radiante (LOVELL, 1968).

Rumford, em 1805, considerou que um corpo irradia calor analogamente a uma campainha enviando vibrações (ondas de calor). Segundo ele, a temperatura do corpo quente é determinada pelo seu período de vibração. Através de seus experimentos, ele afirmou que todos os corpos irradiam calor em cada temperatura e que a intensidade de radiação é diferente em uma mesma temperatura para corpos de substâncias diferentes (BARNETT, 1946).

Entre os que ainda pressupunham calor como substância, temos Prevost, em 1809, que adotou a teoria de emissão do calor radiante (*calorique rayonnant*). Para Prevost, um corpo quente é simplesmente aquele que emite partículas de calor em uma maior proporção

que os corpos frios. O estado caracterizado pela igualdade de temperatura seria um estado de equilíbrio dinâmico, no qual corpos emitem as partículas de “calórico radiante” na mesma proporção (BARNETT, 1946). Em 1820, Dulong (1785 - 1838) ainda defende a ideia de calórico. Ele afirma que calórico radiante se propaga por vibrações do mesmo fluido que, com uma grande velocidade, produz em nós a sensação de luz (BRUSH, 1970).

No início do século XIX, supunha-se que calor e luz eram substâncias fluidas. No período entre 1800 e 1830, experimentos com calor radiante realizados por William Herschel, John Leslie, Macedonio Melloni e outros, apresentaram que algo denominado calor radiante tinha a maioria das propriedades da luz, entre elas, reflexão e refração. A teoria ondulatória do calor, que começou a ser desenvolvida após 1830, admite que calor é a vibração de um fluido etéreo que ocupa todo espaço, e que transmite movimento vibracional de um átomo para outro. Esta teoria nega que vibrações de partículas sozinhas podem constituir o fenômeno do calor, sendo o papel do éter essencial (BRUSH, 1970).

Macedonio Melloni (1798-1854), em seus trabalhos sobre calor radiante, defendeu que calor radiante compartilhava as propriedades qualitativas da luz: reflexão, refração, difração, polarização, interferência, etc. Embora, as diferenças quantitativas em tais propriedades levassem a diferentes efeitos nos órgãos de sentido humano (BRUSH, 1970).

### **3.2.Os experimentos de Herschel sobre Calor Radiante**

Apresentamos até agora, em linhas gerais, um pouco da complexidade do contexto socioeconômico e científico, no qual William Herschel desenvolveu suas pesquisas. A seguir, vamos nos deter em uma análise mais detalhada das pesquisas de Herschel sobre calor radiante, mais especificamente em seus experimentos nos quais investigou o poder de aquecer e iluminar das diferentes cores e verificou a existência de radiação além do espectro visível e na sua construção dos espectros de luz e de calor.

#### **3.2.1. Um pouco sobre William Herschel**

William Herschel (1738–1822) era um astrônomo alemão naturalizado inglês que se interessou inicialmente por música, assim como seu pai – Isaac Herschel. Posteriormente, ele se dedicou a construção de telescópios com o intuito de observar os

céus e a natureza e distribuição das estrelas distantes e nebulosas. Ele alugava telescópios e polia seus próprios espelhos (HOSKIN, 2012).

Herschel descobriu o planeta Urano, fato que o tornou mundialmente famoso como descobridor de um planeta. Como resultado desta descoberta ele foi eleito membro da Royal Society, premiado com o Copley Prize, e nomeado astrônomo do Rei George III (LOVELL, 1968).

O porão de sua casa funcionava como uma fábrica, onde ele fez muitos experimentos com metais de diferentes composições no intuito de polir seus próprios espelhos. Em suas observações, Herschel também identificou o sexto satélite de Saturno. Tais observações se deram quando ele já estava com 43 anos e tornaram-no um nome de respeito quanto à localização de corpos celestes.

Herschel não era matemático, não podendo avançar na análise matemática dos movimentos planetários; nem seus instrumentos tinham a precisão necessária para astronomia posicional. Mas, suas habilidades como observador e seus bons telescópios permitiram-no contribuir para o conhecimento da constituição física da maior parte dos principais membros do sistema solar.

Envolvido com suas observações astronômicas e com o aprimoramento dos instrumentos, aos 61 anos, Herschel também desenvolveu estudos sobre o calor. No contexto da discussão sobre luz e os fenômenos de interferência, diretamente relacionados com as observações das estrelas, Herschel se concentrou no estudo principalmente dos raios solares.

Uma busca por trabalhos de Herschel<sup>1</sup> mostra uma grande quantidade de relatos de observações e quatro artigos, todos lidos perante a Royal Society, e publicados na *Philosophical Transactions* no ano de 1800, que tratam de algumas experiências relacionadas com o aquecimento de diferentes materiais quando expostos à radiação solar e terrestre<sup>2</sup>. Os artigos são:

Nº	Título	finalizado em	lido em
1	<i>Investigation of the Powers of the Prismatic Colours to Heat and Illuminate Objects; With Remarks That Prove</i>	08/03/1800	27/03/1800

<sup>1</sup> Basta, por exemplo, buscar por “William Herschel” na base de dados JSTOR

<sup>2</sup> O termo radiação utilizado por Herschel denotava simplesmente a luz obtida, sem implicar em qualquer interpretação eletromagnética. Radiação, para Herschel, é um feixe de raios, ou seja, luz se propagando em linha reta.

	<i>the Different Refrangibility of Radiant Heat. To Which is Added, an Inquiry into the Method of Viewing the Sun Advantageously, with Telescopes of Large Apertures and High Magnifying Powers (HERSCHEL, 1800a)</i>		
2	<i>Experiments on the Refrangibility of the Invisible Rays of the Sun (HERSCHEL, 1800b)</i>	17/03/1800	24/04/1800
3	<i>Experiments on the solar, and on the Terrestrial rays that occasion heat: with a comparative view of the laws to which light and heat, or rather the rays which occasion them, are subject, in order to determine whether they are the same, or different. Part I (HERSCHEL, 1800c)</i>	26/04/1800	15/05/1800
4	<i>Experiments on the solar, and on the Terrestrial rays that occasion heat: with a comparative view of the laws to which light and heat, or rather the rays which occasion them, are subject, in order to determine whether they are the same, or different. Part II (HERSCHEL, 1800d)</i>	não consta	06/11/1800

Tabela 1: Trabalhos de Herschel sobre calor radiante.

A apresentação dos artigos perante a Royal Society coincide com a sequência de questionamentos e hipóteses que Herschel conjecturou para tentar entender a relação entre a radiação solar e o aquecimento das lentes, que eram utilizadas nos telescópios. Assim, no primeiro dos artigos Herschel (1800a) apresenta alguns experimentos em que discute o poder de aquecer e iluminar das diferentes cores do espectro prismático, bem como a diferente refrangibilidade<sup>3</sup> dos raios de calor. Ao fazer experiências testando o melhor método de ver o Sol, através de grandes telescópios, Herschel utilizou várias combinações de vidros diferentemente escurecidos. Ao usar alguns deles, ele sentiu uma sensação de calor, embora tivesse pouca luz, enquanto outros iluminavam melhor (forneciam mais luz), com pouca sensação de calor. Ele então conjecturou que os raios prismáticos poderiam ter o poder de aquecer e iluminar distribuídos desigualmente entre eles. Algumas cores são mais aptas a ocasionar calor; outras, ao contrário, são mais aptas para a visão, por possuir um poder iluminador superior. Para verificar esta conjectura, ele realizou os experimentos

<sup>3</sup> O termo refrangibilidade nas pesquisas de Herschel, refere-se aos diferentes graus de refração dos raios de calor e de luz por um prisma. Para o caso da luz, a diferença na refração é demonstrada pela variedade de cores; para o caso do calor, a diferença na refração dos raios é representada pelos diferentes graus de aquecimento ao longo do espectro de cores. A refração da luz era um fenômeno em estudo neste período e havia várias suposições quanto à causa do fenômeno e à natureza da luz. Atualmente entendemos que o fenômeno da refração ocorre pela mudança da velocidade da luz no meio, o que determina o índice de refração de um material. Para entender melhor, sugerimos (DARRIGOL, 2012, p. 132).

que são descritos no primeiro artigo. Neste primeiro artigo, Herschel observa que na decomposição do espectro da luz solar, a região após o vermelho é a que parece provocar maiores alterações de temperatura. Isso o leva a concluir que poderia haver raios luminosos que não eram perceptíveis à visão (raios invisíveis), mas que produziriam calor. Para verificar esta suposição ele realizou os experimentos que são descritos no segundo artigo, nos quais detecta que o máximo de calor ocorre além do vermelho visível. Restava verificar se tais raios invisíveis (de calor) possuíam as mesmas propriedades da luz. Nos artigos seguintes (3 e 4), ele constrói vários aparatos e experimentos em que tenta responder a esta questão. Vamos nos concentrar nos artigos 1 e 2, que possuem os experimentos e resultados mais conhecidos de Herschel, e abordar superficialmente os outros dois, que possuem cerca de 240 experimentos descritos.

### **3.2.2. O poder de aquecimento e iluminação dos raios coloridos**

Nos experimentos sobre o poder de aquecimento dos raios coloridos, Herschel (1800a) fixou um pedaço de papelão AB em um suporte CD (ver figura 1), permitindo seu movimento em torno de dois eixos laterais. No papelão, cortou uma abertura um pouco maior do que o bulbo de um termômetro e de comprimento suficiente para permitir passar toda a extensão de uma das cores prismáticas. Ele, então, colocou três termômetros em cima de pequenos planos inclinados EF. Os bulbos dos termômetros foram escurecidos com tinta. O bulbo do N°1 era maior para permitir grande sensibilidade. Os termômetros N°2 e N°3 foram emprestados a Herschel por um certo Dr. Wilson. Herschel os descreve como dois excelentes termômetros, com grande sensibilidade devido ao fato de possuírem bulbos muito pequenos. O suporte com o papelão e os termômetros, foi colocado em cima de uma pequena placa simples, GH. Herschel colocou um prisma, móvel sobre seu eixo, na parte superior de uma janela aberta, formando um ângulo reto com o raio solar, e girou-o até que o espectro colorido refratado por ele caísse sobre uma mesa colocada a uma distância adequada da janela.

A placa que continha o aparato foi colocada sobre a mesa, de modo a deixar os raios de uma cor passar através da abertura no papelão, considerando que a largura do espectro estava delimitada para cada uma das cores. A estrutura móvel foi ajustada perpendicularmente aos raios provenientes do prisma e os planos inclinados com os três



termômetros, com seus bulbos dispostos numa linha, foram colocados próximos à abertura, de modo que qualquer um deles pudesse ser facilmente avançado para receber a irradiação da cor, que passasse através da abertura, enquanto o resto permanecia próximo, sob a sombra do papelão.

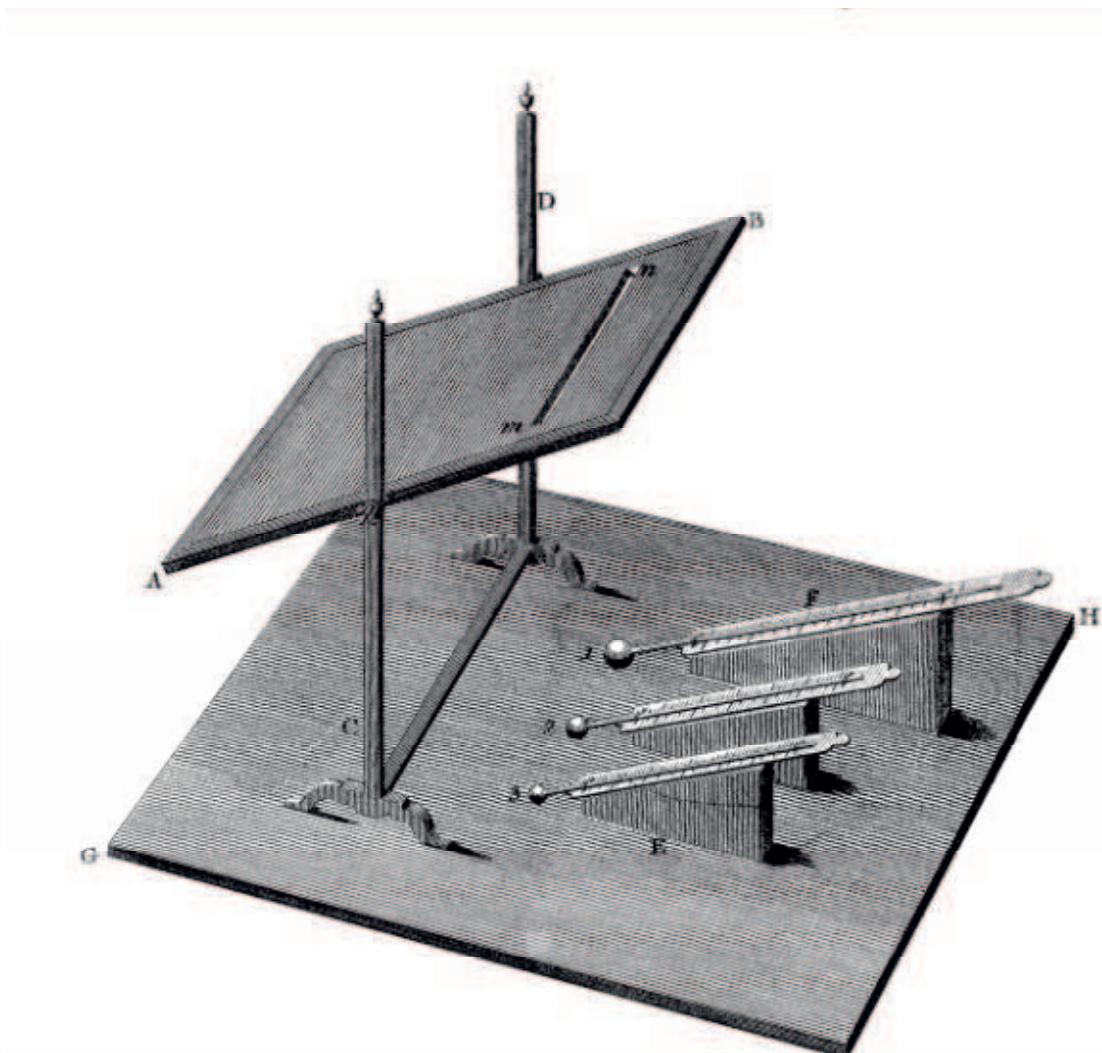


Figura 1: Aparato utilizado por Herschel para investigar o poder de aquecer e iluminar das diferentes cores prismáticas. Fonte: HERSCHEL, 1800a.

Por ensaios repetidos, Herschel percebeu que o termômetro N°2 de Dr. Wilson e o seu termômetro, sempre concordavam ao mostrar a temperatura do lugar examinado, quando a mudança não foi muito repentina. O seu exigia dez minutos para sofrer uma mudança, enquanto que o N°2 e o N°3 mostravam em cinco minutos. Ele conclui que talvez isso tenha ocorrido devido ao fato do bulbo do seu termômetro ser maior que os bulbos dos termômetros de Dr. Wilson. Portanto, Herschel está atribuindo o tempo

necessário para o aquecimento às propriedades do termômetro (o tamanho do bulbo). Porém, posteriormente, nos experimentos sobre transmissão do calor solar através de diferentes substâncias, Herschel (1800d) atribuiu essa demora na mudança da temperatura marcada pelo seu termômetro ao fato das diferentes substâncias interceptarem mais calor solar no início que no final das observações. Assim, os termômetros utilizados para identificar o calor que era transmitido através das substâncias demoravam mais para ter sua temperatura aumentada. Herschel (1800d) tomou esse fato como um dos argumentos para diferença entre os raios de calor e de luz, uma vez que assumia a transmissão da luz como instantânea. Ou seja, é possível perceber as contradições e os conflitos presentes no trabalho de Herschel e que são inerentes a toda prática científica.

No 1º experimento, utilizando o aparato já descrito, Herschel (1800a) arranhou os três termômetros no lugar preparado para o experimento e esperou até que eles estivessem todos estáveis. Em seguida, avançou o N°1 para os raios vermelhos e deixou os outros dois por perto, na sombra. Em aproximadamente 8 ou 10 minutos, o termômetro N°1 aumentou cerca de  $6 \frac{3}{4}$  graus<sup>4</sup>, devido aos raios vermelhos em comparação com os dois termômetros padrão (N°2 e N°3). Na sequência, ele altera a posição dos termômetros para as diferentes cores do espectro e observa o aumento de temperatura.

Experimento	Cor	$\Delta T$ (em aprox. 10 min)
1º	vermelho	$6 \frac{3}{4}$
2º	vermelho	7
3º	verde	$3 \frac{1}{4}$
4º	violeta	2

Tabela 2: Resultados dos experimentos realizados verificando o aquecimento de diferentes cores do espectro prismático, utilizando o termômetro N°1 como variável e o termômetro N°2 como padrão.

Nos próximos experimentos, ele troca os termômetros de medida e padrão, colocando o N° 2 na cor e o N° 3 como padrão, obtendo os seguintes resultados:

---

<sup>4</sup> Herschel não explicita qual escala de temperatura estava utilizando. A diferença  $\Delta T$  é relativa ao valor da temperatura no termômetro que estava na cor a ser medida e o termômetro fora da cor, usado como padrão. Assim, para o primeiro caso da Tabela 1, os termômetros N° 1 e N° 2 marcavam inicialmente  $43 \frac{1}{2}$  e  $43 \frac{1}{2}$ , respectivamente. Após 10 minutos, os valores eram 50 e  $43 \frac{1}{4}$ , respectivamente, o que leva Herschel a concluir que a diferença de  $6 \frac{3}{4}$  graus entre os termômetros seria devida ao fato do termômetro N° 1 estar sob a cor vermelha.

Experimento	Cor	$\Delta T$ (em aprox. 5 min.)
5°	vermelho	2 $\frac{3}{4}$
6°	vermelho	4
7°	verde	1 $\frac{1}{2}$
8°	verde	2

Tabela 3: Resultados dos experimentos realizados verificando o aquecimento de diferentes cores do espectro prismático, utilizando o termômetro N°2 como variável e o termômetro N°3 como padrão.

A partir dessas experiências, Herschel (1800a) apresenta os seguintes resultados: nos raios vermelhos seu termômetro aumentou 6  $\frac{3}{4}$  graus no 1° experimento e 7 graus no 2°, para o aumento do mercúrio: a média de ambos é 6  $\frac{7}{8}$ . No 3° experimento tivemos 3  $\frac{1}{4}$  graus, para o aumento ocasionado pelos raios verdes. À média da variação de temperatura, Herschel atribui o “poder de aquecimento”<sup>5</sup> da cor, e relaciona os poderes das diferentes cores. Pelos resultados da Tabela 2, temos:

$$\frac{\text{poder de aquecimento vermelho}}{\text{poder aquecimento verde}} = \frac{6\frac{7}{8}}{3\frac{1}{4}} = \frac{55}{8} \frac{4}{13} = \frac{55}{26} \quad (1)$$

Com relação ao violeta, a relação dos poderes de aquecimento fica como 55 para 16. Herschel argumenta que os quatro últimos experimentos provam a precisão dessa determinação, pois, mesmo utilizando termômetros diferentes (entre o 5° e o 8° experimento, Herschel utiliza o termômetro de Dr. Wilson), a proporção do poder de aquecimento entre o vermelho e o verde fica 27 para 11 ou como 55 para 22,4, corroborando os resultados da primeira tabela. Segundo Herschel, a diferença (27 para 11), observada no caso do termômetro N°2 está associada à sua maior sensibilidade.

Parece extraordinário que o termômetro mais sensível deveria fornecer uma alteração menor a partir de sua exposição aos raios solares. Mas, uma vez que nestas circunstâncias há duas causas atuando de diferentes maneiras; uma para fazer subir o termômetro, a outra para fazê-lo baixar para a temperatura da sala, suponho que devido à pequenez do bulbo no termômetro do Dr. Wilson [N° 2], a qual é um pouco mais que  $\frac{1}{8}$  de uma polegada, às causas resfriantes devem ter um efeito mais forte sobre o mercúrio que contém do que têm sobre o meu, o qual tem um bulbo de meia polegada (HERSCHEL, 1800a, p. 261).

<sup>5</sup> Não é possível fazer uma analogia entre o “poder de aquecimento” considerado por Herschel e o que entendemos hoje sobre calor, ou mesmo levantar hipóteses sobre a natureza da radiação ou do calor. Mas, a partir das conclusões a que ele chega no trabalho, pode-se supor que o poder de aquecimento está simplesmente relacionado com a capacidade de fazer a temperatura subir. A exposição à cor vermelha faz aumentar mais a temperatura do que a exposição à cor verde.

Segundo Herschel, para obter maior precisão ainda quanto ao poder de aquecimento da cor seria suficiente escurecer os bulbos dos termômetros e realizar a exposição ao Sol em altitudes maiores, em que a luz seria mais poderosa e estável. Entretanto, ele julga que as experiências relatadas, são suficientes para o seu propósito, o qual seria de provar que o poder de aquecimento das cores prismáticas não é igualmente dividido e que a máxima emissão, e portanto, o maior poder de aquecimento, estaria nos raios vermelhos.

Encontramos novamente inconsistências nos resultados de Herschel, pois neste caso ele afirma que mais precisão é obtida ao escurecer os bulbos dos termômetros. Entretanto, em seus experimentos sobre transmissão do calor solar, Herschel (1800d) defende que os bulbos dos termômetros utilizados no aparato para identificar a quantidade de calor transmitido através das diferentes substâncias não devem ser escurecidos, pois desta forma, estes seriam mais sensíveis a mudanças, especialmente em exposições muito rápidas. É a partir dessas divergências de opiniões que percebemos que Herschel, como um astrônomo, estava adentrando em um campo de investigação no qual não tinha muito conhecimento.

Na continuidade do trabalho, Herschel buscará investigar se os diferentes raios prismáticos possuem diferentes poderes de iluminação e assim relacionar poder de aquecimento com poder de iluminação. Para este propósito, Herschel utiliza um microscópio que recebe diretamente os raios prismáticos.

1º Experimento. Coloquei um objeto que tinha muitas partes pequenas, sob um microscópio duplo; e, tendo colocado um prisma na janela, de forma que uma imagem estacionária colorida do Sol atingisse a mesa onde o microscópio estava, fiz com que os diferentes raios coloridos caíssem sucessivamente sobre o objeto, movendo o microscópio para o interior da sua luz. O poder de ampliação era de 27 vezes (HERSCHEL, 1800a, p. 262).

Através dos experimentos Herschel encontrou que seus objetos eram muito bem vistos no vermelho, melhor no laranja e ainda melhor no amarelo e no verde. Mas, com uma menor vantagem no azul e no índigo e com mais imperfeição no violeta. Segundo ele, esse estudo foi feito utilizando um microscópio que é geralmente preparado para a visão transparente, adaptado para a forma opaca. Isto o permitiu escolher outros objetos que poderiam responder melhor ao seu propósito, bem como adicionar o efeito que substâncias diferentemente coloridas podiam ter sob os raios de luz. Ele providenciou diferentes materiais para serem observados e um microscópio que ampliava 42 vezes. Herschel apresenta em detalhes a presença ou não de pontos luminosos nas observações para cada

uma das cores do espectro<sup>6</sup>, bem como um certo “grau” de iluminação que ele observa sem, aparentemente, um instrumento comparativo.

Primeiramente, ele explica que um objeto é dividido em pequenos pontos diferentemente arranjados, nos quais a atenção pode ser fixada, para determinar se eles são igualmente distintos em todas as cores, e se seus números seriam aumentados ou diminuídos por diferentes graus de iluminação. Era exatamente isso que Herschel queria saber. Herschel afirma que os objetos que foram examinados, apresentaram-se quase com a mesma aparência. O resultado de sua observação dos objetos, foi como segue:

No 2º *experimento*, Herschel examina o papel vermelho. Nos raios vermelhos, Herschel descreve que vê um ponto brilhante perto de uma mancha preta no papel, que lhe serve como uma marca e percebe que no espaço entre o ponto e o local contém vários pontos fracos. Nos raios laranja, ele descreve que vê melhor. O ponto brilhante, agora ele percebe que é duplo. Nos raios amarelos, ele vê o objeto ainda melhor. Nos raios verdes, ele vê tão bem como antes. Nos raios azuis muito bem. Nos raios índigo, não tão bem como no azul. Nos raios violeta, muito imperfeitamente.

Herschel segue com outros experimentos, utilizando papel verde (3º experimento), peça de bronze (4º experimento), prego (5º experimento), guinea (6º experimento), prego a 8 polegadas do prisma (7º experimento), prego aos 9 pés e 6 polegadas do prisma (8º experimento) e papel preto (9º experimento). Nesses experimentos, ele vai verificando a quantidade, distinção/nitidez, bem como o brilho dos diferentes pontos observados através das diferentes cores (vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, índigo e violeta). Então, em algumas cores ele descreve ter visto mais pontos brilhantes, em outras menos, bem como que em algumas cores os objetos aparecem mais distintamente que em outras.

Após uma série de observações (9 experimentos com 7 observações em cada um deles), ele conclui que os raios vermelhos possuem um pequeno poder de iluminação. O laranja possui mais do que o vermelho, e os raios amarelos iluminam objetos ainda mais perfeitamente. O máximo de iluminação ocorre entre o verde claro e o amarelo brilhoso. Porém, a partir do verde escuro, o poder de iluminação diminui muito sensivelmente, sendo o poder do azul aproximadamente igual ao do vermelho e o do índigo ainda menor

---

<sup>6</sup> Herschel está adotando que o espectro solar é constituído de sete cores. Como sabemos, há infinitas cores no espectro e, além disso, ele é contínuo e não pode ser adotado como Herschel faz, como se houvesse uma largura definida para cada uma das cores. No entanto, é importante lembrar que no final do século XVIII as concepções newtonianas eram muito fortes e Herschel em vários momentos se mostra adepto delas. Portanto, é compreensível que adote o espectro de sete cores primárias como fazia Newton. Para compreensão da teoria das cores de Newton, sugerimos Silva e Martins (1996).

que o do azul. Por fim, o violeta é o mais deficiente. Porém, Herschel reconhece a imprecisão existente nos experimentos, bem como a necessidade de tentar separar melhor as cores para poder definir suas propriedades quanto ao poder de iluminação, o que poderia ser feito, segundo ele, se adotasse alguns dos procedimentos de Isaac Newton<sup>7</sup>, uma vez que seu prisma não poderia efetuar uma separação completa das cores, por conta do diâmetro aparente do Sol, e da largura considerável do próprio prisma, através do qual os raios foram transmitidos.

Entretanto, Herschel (1800a) defende que se não tivesse havido uma pequena mistura dos raios vermelhos nas outras cores, o resultado teria sido ainda mais decisivo, no que diz respeito ao poder de aquecimento investido nos raios vermelhos. Os raios vermelhos também iluminam objetos, mas de forma imperfeita.

O maior motivo da mistura de cores é a largura do prisma, afirma Herschel (1800a). Deste modo, no 6º e 7º experimentos pontos coloridos foram mencionados. Por exemplo, no 7º experimento ele vê no amarelo, os pontos de várias cores. Herschel(1800a), então decidiu cobrir a frente do prisma com um pedaço de papelão, tendo uma fenda nele de aproximadamente 1/10 de uma polegada de largura. Assim, ao observar um prego a 9 pés e 2 polegadas a partir do prisma (10º experimento), ele viu que o fenômeno dos pontos diferentemente coloridos foi resolvido. No vermelho, ele vê pontos vermelhos, no laranja pontos laranja, e assim sucessivamente.

Entretanto, ao tentar repetir os experimentos sobre o termômetro, com o prisma coberto da mesma maneira, Herschel percebeu que os raios coloridos estavam muito debilitados para dar um resultado decisivo. O termômetro utilizado por Herschel não tinha sensibilidade suficiente para sentir os raios de calor que passavam através dessa pequena fenda.

Os experimentos levam Herschel a conjecturar que o calor radiante possui diferente refrangibilidade, ressaltando que, assim como a luz, ele não é apenas refratável, mas também está sujeito às leis da dispersão decorrente da sua diferente refrangibilidade. Isto é, devido a sua diferente refrangibilidade, ao ser dispersado pelo prisma, os raios de calor são refratados em diferentes direções.

A quantidade total de calor radiante contida em um raio de sol, se esta diferente refrangibilidade não existisse, deveria, inevitavelmente, cair sobre um espaço

---

<sup>7</sup> Herschel faz referência aos acoplamentos de prismas, como a figura 16 do Optics de Newton ( NEWTON, 1952, p.43).

igual à área do prisma; e se calor radiante não for totalmente refrangível, ele cairia sobre um espaço igual, que corresponde ao espaço onde a sombra do prisma, quando coberta, pode ser vista. Mas, nenhum destes eventos ocorrendo, é evidente que o calor radiante está sujeito às leis de refração, e também àquelas que tratam da diferente refrangibilidade da luz. Pode isto nos levar a supor que calor radiante consiste de partículas em um certo intervalo de momentum, e que tal intervalo pode se estender um pouco além de cada lado de refrangibilidade, além daquele da luz? (HERSCHEL, 1800a, p. 272)

Novamente recorrendo aos conceitos newtonianos, Herschel faz uma analogia entre calor radiante e luz, supondo o primeiro também como partículas com momentum. Herschel supõe que pode haver partículas que não são detectáveis como luz. Ele esclarece que através de uma exposição gradual do termômetro para os raios do espectro prismático, começando a partir do violeta, chega-se ao máximo da luz muito antes de chegar ao máximo de calor, que se encontra no outro extremo. Para mostrar a proporção entre o poder de iluminação e o de aquecimento, ele cita outros experimentos que lhe permitiram chegar a uma relação entre os poderes:

Por muitos experimentos, que o tempo não me permitirá reportar agora, parece que o máximo de iluminação tem um pouco mais que metade do calor do total dos raios vermelhos; e a partir de outros experimentos, da mesma forma concluo que o total dos raios vermelhos está no máximo do calor, o qual talvez esteja um pouco além da refração visível (HERSCHEL, 1800a, p. 272).

Não encontramos trabalhos anteriores em que Herschel mostre os resultados que permitem fazer esta afirmação; tampouco nos trabalhos posteriores, nos quais ele já parte desta afirmação como certa. No entanto, no artigo 4 (HERSCHEL, 1800b), ele apresenta um gráfico em que estas conclusões estão traçadas num diagrama. Porém, tentando seguir a cronologia dos trabalhos de Herschel, discutiremos tal diagrama posteriormente, no contexto em que foi apresentado.

Segundo as conclusões de Herschel, o calor radiante consistiria, ao menos em parte, se não principalmente, de luz invisível. Ou seja, calor radiante consistiria dos raios que vêm do Sol, que possuem momentum inadequado para a visão. Assim, se fosse admitido, como era na época, que os órgãos da visão são apenas adaptados para receber impressões de partículas de certo momentum, o máximo de iluminação seria no meio dos raios refrangíveis e aqueles que saíssem deste intervalo seriam inadequados para a visão, como no caso do calor radiante. Isto gera certo “desconforto”, pois como seria luz, se seria invisível? Este “desconforto” foi motivo de críticas quando o trabalho foi publicado, como discutiremos em outro tópico.

### 3.2.3. Confirmando a existência dos raios invisíveis

Talvez o experimento mais conhecido de Herschel seja o apresentado no 2º artigo de 1800, no qual ele procura provar a hipótese que fez anteriormente, de que a extensão da refrangibilidade dos raios de calor é provavelmente mais ampla que as das cores prismáticas. Herschel (1800b) providenciou um suporte com quatro pequenas pernas e o cobriu com papel branco. Neste papel ele desenhou cinco linhas paralelas à extremidade do suporte e separadas por uma distância de meia polegada uma da outra, mas de modo que a primeira das linhas pudesse estar a apenas  $\frac{1}{4}$  de uma polegada da borda. Interceptou as linhas com 3 perpendiculares, sendo a segunda a 2 polegadas e meia da primeira e a terceira a 4 polegadas da primeira.

Os mesmos termômetros que tinham sido, no trabalho anterior, marcados como N°1, N°2 e N°3 e montados sobre os pequenos planos inclinados, foram então colocados de modo a ter os centros das sombras de seus bulbos lançados na intercessão dessas linhas. Colocando seu suporte sobre uma mesa, Herschel (1800b) fez com que o espectro prismático atingisse a borda do papel com sua cor extrema na borda do papel, de modo que nenhuma cor podia avançar além da primeira linha. Neste arranjo, todo o espectro, exceto o último quarto de uma polegada da cor em leitura, que servia como uma direção, passou abaixo da borda do suporte, e não podia interferir nos experimentos. Herschel escureceu a janela na qual o prisma foi colocado, fixando uma fina cortina verde escura, para manter fora tanta luz quanto conveniente (Figura 2).

Os termômetros foram ajustados para a temperatura da sala e o suporte colocado na parte do vermelho refratado pelo prisma que atingia a borda do papel. O termômetro N°1 estava a  $1 \frac{1}{4}$  polegada, em direção ao segundo, que juntamente com o 3º termômetro, foram mantidos como padrão. Durante o experimento, Herschel (1800b) manteve a última terminação do vermelho visível na primeira linha. Vagarosamente, movendo o N°1 quando necessário, Herschel variou a posição dos termômetros e verificou o aumento da temperatura nas posições em relação à primeira linha (onde estava o vermelho).



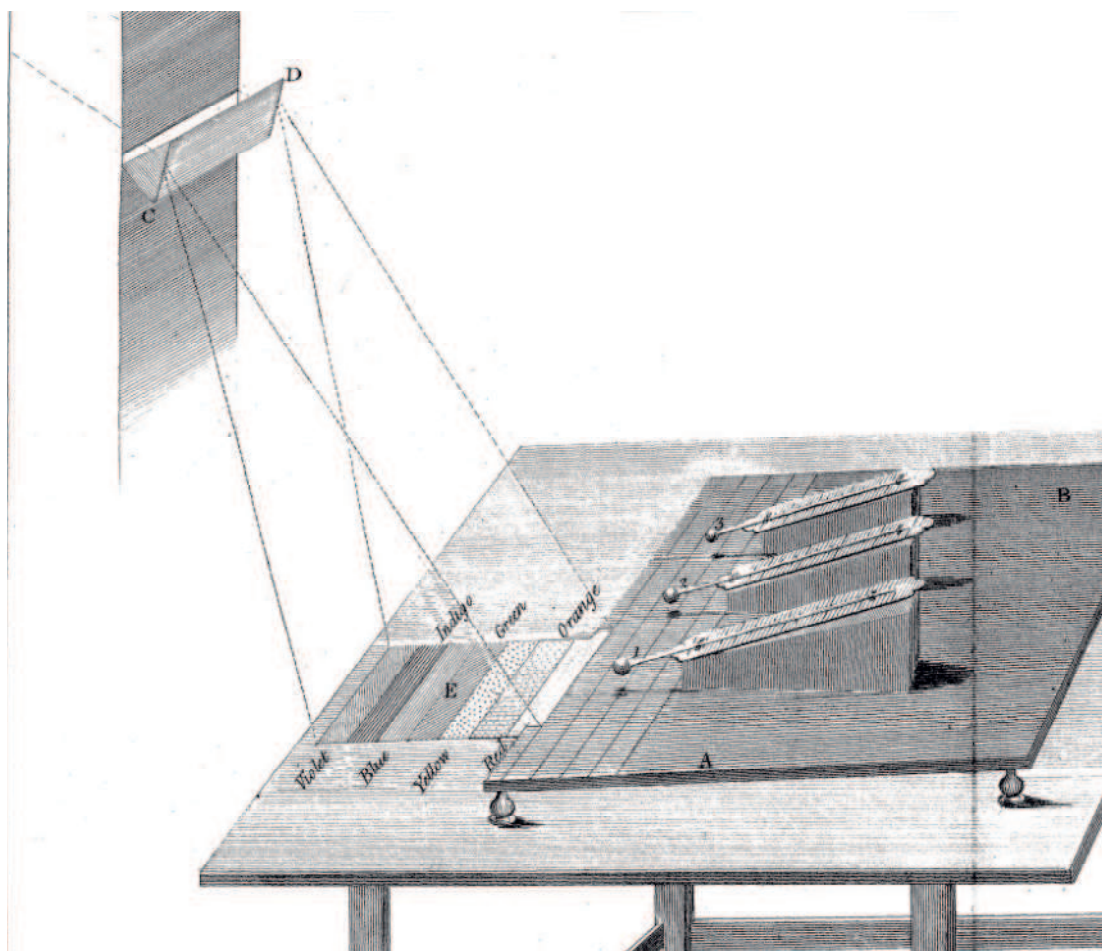


Figura 2: A,B o pequeno suporte.1, 2, 3 os termômetros sobre ele; CD o prisma na janela. E, o espectro lançado na mesa de modo a trazer o último quarto de uma polegada da cor de leitura sobre o suporte. Fonte: HESCHEL, 1800b.

Com estas medidas, Herschel obteve os seguintes dados<sup>8</sup>:

localização - tempo de exposição	$\Delta T$ N°1	$\Delta T$ N°2
linha 1 - 10 min	$6 \frac{1}{2}$ (Variável)	
linha 2 - 12 min		$2 \frac{3}{4}$ <sup>9</sup> (Variável)
linha 3 - 13 min	$5 \frac{1}{4}$ (Variável)	
linha 4 - 10 min	$3 \frac{1}{8}$ (Variável)	

Tabela 4: Resultado do aquecimento além do vermelho visível.

<sup>8</sup> O procedimento para determinação da diferença de temperatura é semelhante ao da Tabela 2, medindo sempre a diferença entre termômetro na cor e termômetro fora dela. Porém, para a linha 2, Herschel inverte os termômetros padrão e de medida.

<sup>9</sup> Como Herschel tinha afirmado antes, o termômetro N°2 era muito mais sensível que o N°1, por isso, sofre menos alteração, a partir da exposição aos raios coloridos.

Podemos observar que Herschel não mantém um intervalo fixo para obter as medidas de variação da temperatura, nem mesmo coleta a mesma quantidade de medidas, já que para a linha 4 ele considerou apenas 2 valores, enquanto que para os demais mediu 4 valores. Ao invés de ir para 5ª linha, Herschel decidiu fazer a experiência no outro extremo do espectro prismático para aproveitar o céu claro. Ele descreve que este extremo foi observado com alguma dificuldade, pois, como a iluminação dos raios violetas é fraca, a terminação precisa deste não pode ser percebida. Após algumas medidas em que não houve aumento considerável de temperatura, Herschel conclui que não há raios “invisíveis” que aqueçam além do violeta.

A partir dos últimos experimentos estou suficientemente persuadido que qualquer raio que incida além do violeta não poderia ter qualquer poder perceptível, seja de iluminar ou aquecer; e que ambos estes poderes continuariam juntos através de todo o espectro prismático, e finalizariam onde o mais fraco dos violetas se anula. Um ponto importante permanece ainda a ser determinado, que é a situação de máximo poder de aquecimento (HERSCHEL, 1800b, p. 288).

Considerando que raios próximos ao violeta não possuíam poder de aquecimento, Herschel partiu diretamente para medir a variação da temperatura da região que estava além do vermelho total. Ele supôs uma largura para a faixa de vermelho total de aproximadamente  $\frac{1}{2}$  polegada e deslocou o termômetro N° 1 ao longo desta faixa, mantendo os outros dois termômetros ao lado, como padrão. Os dados obtidos estão na tabela a seguir.

Localização do bulbo	Tempo de exposição (min)	$\Delta T$ N°1
Centro do vermelho total	10	7
$\frac{1}{2}$ bulbo no centro do verm. total	10	8
totalmente fora do verm. visível	10	9 <sup>10</sup>
$\frac{1}{2}$ polegada além do verm. visível	16	8 $\frac{3}{4}$

Tabela 5: Resultados dos experimentos que visam determinar onde ocorre o máximo poder de aquecimento.

Os experimentos da tabela 4, mostraram que esses raios vindos do Sol, que são menos refrangíveis que qualquer um desses que afetam a vista, são investidos com um alto

<sup>10</sup> Neste caso o termômetro não partiu da temperatura ambiente e o valor é relativo ao termômetro padrão.

poder de aquecer corpos, mas com nenhuma iluminação de objetos. Isto, explica a razão pela qual eles até agora passaram despercebidos, afirma Herschel (1800b).

O aquecimento é estendido ao extremo do limite dos raios visíveis violeta, mas não além deles. Este é gradualmente enfraquecido, quando os raios tornam-se mais refrangíveis.

Os experimentos da tabela 5, mostraram que o máximo poder de aquecimento ocorre entre os raios invisíveis. Herschel afirma que esse ocorre, provavelmente, não menos que a ½ polegada além do último visível.

Herschel conclui que: (i) há raios vindo do Sol que são menos refrangíveis do que aqueles que afetam a visão e que possuem alto poder de aquecimento e nenhum de iluminar; (ii) o máximo poder de aquecimento está entre os raios invisíveis e a não menos de meio polegada além do vermelho visível (considerando a projeção utilizada). E segundo ele “Agora será fácil resumir os resultados dessas observações”<sup>11</sup> (HERSCHEL, 1800b). No entanto, não há nenhum gráfico ou diagrama apresentado na sequência das observações. Suspeitamos que ele esteja se referindo ao mesmo diagrama que foi citado aqui anteriormente e que aparecerá apenas no último dos trabalhos.

### 3.2.4. A Relação Luz X Calor

Nos dois últimos trabalhos (HERSCHEL, 1800c; HERSCHEL, 1800d), Herschel busca responder a seguinte pergunta: “*se nós chamamos luz, esses raios que iluminam objetos, e calor radiante, esses que aquecem corpos, nós podemos investigar, se luz é essencialmente diferente de calor radiante?*” Para responder, ele pretende comparar as propriedades do calor radiante com as da luz, de acordo com a tabela 6.

Propriedades dos raios que ocasionam luz	Proposições similares acerca do dos raios que ocasionam calor
1. Luz, solar e terrestre, é a sensação ocasionada por raios emanados de corpos luminosos, que tem o poder de iluminar objetos e de acordo com as circunstâncias, de fazer-lhes aparecer de várias cores.	1. Calor, solar e terrestre, é a sensação ocasionada por raios emanados de substâncias incandescentes, que tem o poder de aquecer corpos.
2. Esses raios são sujeitos às leis de reflexão.	2. Esses raios são sujeitos às leis de reflexão.

<sup>11</sup> A sentença de Herschel é “It will now be easy to draw the result of these observations into a very narrow compass”.

3. Eles são da mesma forma sujeitos às leis de refração.	3. Eles são da mesma forma sujeitos às leis de refração.
4. Eles possuem diferentes refrangibilidades.	4. Eles possuem diferentes refrangibilidades.
5. São detidos, em certas proporções, quando transmitidos através de corpos translúcidos.	5. São detidos, em certas proporções, quando transmitidos através de corpos translúcidos.
6. São espalhados em superfícies ásperas.	6. São espalhados em superfícies ásperas.
7. Supõe-se que eles podem aquecer corpos, o que resta ainda ser examinado.	7. Supõe-se que eles, em certo estado de energia, podem iluminar objetos, o que resta ainda ser examinado

Tabela 6: Relação das propriedades da luz e as proposições similares sobre calor investigadas por Herschel em seu trabalho

As observações que Herschel realiza nos trabalhos 3 e 4 estão baseadas em *não admitir diferentes causas para explicar certos efeitos, se eles podem ser descritos por uma* (1ª regra de raciocínio filosófico de Newton). A maioria das narrativas históricas que discutem a descoberta da radiação infravermelha menciona apenas o fato de Herschel ter descoberto radiação invisível a partir dos experimentos apresentados anteriormente, ignorando a série de investigações que ele apresenta nestes trabalhos (3 e 4) tentando relacionar calor e luz e que continham muitos erros e complicações. Não iremos detalhar estes trabalhos (HERSCHEL, 1800c; HERSCHEL, 1800d). Entretanto, discutiremos, a seguir, alguns aspectos relacionados a eles que contribuem no entendimento do trabalho desenvolvido por Herschel.

Herschel (1800c) considera que a palavra calor denota uma sensação que é bem conhecida. No entanto, enfatiza que é necessário diferenciar o calor enquanto sensação daquilo que o ocasiona, ou seja, o efeito da causa. À causa, Herschel denomina *calor radiante*.

Todo fenômeno no qual calor é a causa, bem como o calor em seus vários estados pode ser explicado pelo princípio dos raios de calor e pelas vibrações ocasionadas por eles nas partes dos corpos (HERSCHEL, 1800c). Herschel enfatiza que usando a palavra raios, não se opõe nem confirma a opinião dos filósofos que acreditavam que luz vem do Sol, não por raios, mas pela vibração de um éter elástico difundido por todo o espaço. As pesquisas de Herschel são neutras em relação à natureza da luz.

Na primeira parte de seu trabalho, Herschel (1800c) traz apenas a investigação das três primeiras proposições.

No intuito de investigar se os raios de calor possuem as mesmas propriedades já verificadas nos raios de luz, Herschel (1800c) desenvolve vários experimentos. Procurando verificar a reflexão dos raios que produzem calor (*Proposição 2*), ele realiza diversos experimentos, nos quais vai testando cada tipo de calor solar e terrestre, verificando se eles sofrem reflexão no espelho utilizado e tem o poder de aquecer, através do aumento da temperatura do termômetro utilizado nos experimentos. Herschel evidencia que em cada caso de calor solar e terrestre, são observados raios que são sujeitos às leis regulares de reflexão e são investidos com o poder de aquecer corpos. Apoiando sua convicção que luz e calor radiante são absolutamente similares.

Ao encontrar em cada caso de calor solar e terrestre, raios que são sujeitos às leis regulares de reflexão e são investidos com o poder de aquecer corpos, nada se pode afirmar em relação à natureza do calor. Uma vez que a reflexão e refração dos raios independem da natureza física propriamente. Essa é uma descrição fenomenológica, apenas pode-se afirmar que o calor obedece às propriedades dos raios, ou seja, se propaga em linhas retas. O som, por exemplo, também é refletido.

Em seguida, Herschel (1800c) começa a investigar a refração dos raios de calor (*Proposição 3*). Neste intuito, ele realiza os diversos experimentos. Nestes, no princípio base de construção de seus aparatos, Herschel utiliza espelhos e lentes para refratar os raios advindos das diferentes fontes de calor (Sol, vela, fogo, etc.) e termômetros para verificar a mudança na temperatura. Ele encontra que os raios vindos do Sol, da chama da vela, os raios coloridos, os raios do fogo de uma chaminé, os raios advindos do ferro incandescente, os raios solares invisíveis, são todos sujeitos às leis de refração e ocasionam calor.

Desta maneira, ele evidencia que o calor, em cada estado, está sujeito às leis de reflexão e refração, e faz, segundo ele, uma boa “*prova*<sup>12</sup>” das três primeiras proposições. Pois, através dos experimentos que estabeleceram que, de acordo com a segunda e terceira proposição, calor é reflexível e refrangível, estabeleceu-se também sua natureza radiante, ou seja, que o calor se propaga através de raios, e assim igualmente ele afirma que *provou* a primeira delas.

Na segunda parte de seu trabalho, Herschel (1800d) trabalha com as quatro últimas proposições. Ele ressalta que nas três próximas proposições (*Proposição 4, 5, 6*) enquanto

---

<sup>12</sup>Neste trabalho o verbo *provar* aparece sempre em itálico, pois Herschel quem afirma que *provou* as proposições. A *prova* científica faz parte da concepção de ciência da época, demarcada pelo espírito quantitativo e pelas experimentações como forma de comprovar ou refutar teorias.

se apresenta a similaridade entre luz e calor, deve-se ao mesmo tempo destacar algumas diferenças notáveis, que ocorreram em seus experimentos nos raios que os ocasionam, seguindo depois para a discussão da questão reservada para a conclusão de seu trabalho, *se luz e calor são ocasionados pelos mesmos ou por raios diferentes*.

Herschel (1800d) analisa a *Diferente Refrangibilidade dos Raios de Calor (Proposição 4)*. Em seus experimentos, Herschel (1800a) encontra que dois graus de calor foram obtidos da parte do espectro que contém os raios violeta, enquanto o vermelho escuro, no lado oposto, dava não menos que sete graus. Segundo ele, esses fatos confirmam a diferente refrangibilidade dos raios que ocasionam calor tão claramente quanto a da luz é confirmada pela dispersão e variedade de cores.

Deste modo, se os raios que ocasionam calor são os mesmos que esses que ocasionam cores, os argumentos para sua diferente refrangibilidade apoiam-se sobre o mesmo fundamento: ser dispersado pelo prisma.

Entretanto, Herschel (1800d) chama a atenção para uma importante diferença: os raios de calor possuem uma refrangibilidade mais extensiva que esses de luz. Para ilustrar isto, Herschel (1800d) delinea o espectro de luz e posteriormente delinea o espectro de calor, tomando como base os resultados dos experimentos obtidos em Herschel (1800a) e (1800b) (ver figura 3). Lembrando que em Herschel (1800a) ele já menciona conclusões que obteve deste diagrama, sem detalhar como.

Herschel (1800d) esboça o espectro de luz, assumindo uma linha de certo comprimento, e dividindo esta linha em sete partes, de acordo com as sete cores designadas por Isaac Newton, no seu *Optics*. Assim, ele representa o poder de iluminação de cada cor, por uma ordenada para essa linha. Como o comprimento absoluto das ordenadas é arbitrário, contanto que eles sejam proporcionais uma a outra, Herschel assume o comprimento do máximo igual a  $27/33$  da linha toda. A escolha de Herschel pelas sete cores de Newton foi alvo de críticas, posteriormente, por John Leslie, que afirmava que as sete cores distintas adotadas por Newton não foram derivadas cientificamente, mas produtos do misticismo da época. Leslie considerava que o espectro era composto por apenas quatro cores: azul, verde, amarelo e vermelho (LOVELL, 1968). O comprimento do espectro colorido, ou a linha que corresponde a GQ na figura 3, mede 2,997 polegadas, afirma Herschel. Ao apresentar a medida da base do espectro colorido com uma precisão de milésimos de polegada (2,997 polegadas), Herschel comete um erro gravíssimo, uma vez que é impossível determinar o comprimento do espectro com essa precisão. O fim do

espectro é impreciso e isso já era conhecido na época de Herschel. Newton já afirmava que ninguém conseguia determinar qual era a forma do fim do espectro (SILVA E MARTINS, 1996).

Ainda com relação à figura 3, GQ representa a linha que contém o arranjo de cores, do vermelho ao violeta. Entre o amarelo e o verde, a linha LR = 27/33 de GQ, representaria o poder de iluminação dos raios neste lugar. Para justificar sua escolha, ele relembra os resultados obtidos no experimento utilizando o microscópio (HERSCHEL, 1800a), sendo que o laranja ilumina mais que o vermelho e que os raios amarelos iluminam os objetos ainda mais perfeitamente. O máximo de iluminação ocorre no amarelo brilhoso ou no verde claro. Porém, a partir do verde escuro o poder de iluminação decresce. O poder do azul assemelha-se ao vermelho, o poder do índigo é ainda menor que o do azul e o violeta o mais deficiente (HERSCHEL, 1800a, LOVELL, 1968). A figura GRQG, representa o que Herschel chama de espectro de iluminação.

Posteriormente, Herschel procura encontrar o espectro de calor. Para isso, ele admite a base do espectro de calor AQ, em proporção a do espectro de luz GQ, como  $5 \frac{1}{4}$  para 3, ou conforme a divisão newtoniana antes mencionada, a base do qual é 3,3 polegadas, como  $57 \frac{3}{4}$  para 33. Ele assume o máximo de calor, uma ordenada de comprimento igual ao que foi fixado para o máximo de luz, o que permitiria comparar os dois espectros juntos. Entretanto, ele não tinha uma base sobre a qual justificar a suposição de que a distância SF é igual a RL. Ele não tinha unidades comuns para os dois gráficos, mas incluiu números no gráfico para dar mais autoridade, num “misto de engenhosidade e imaginação científica” (HILBERT, 1999).

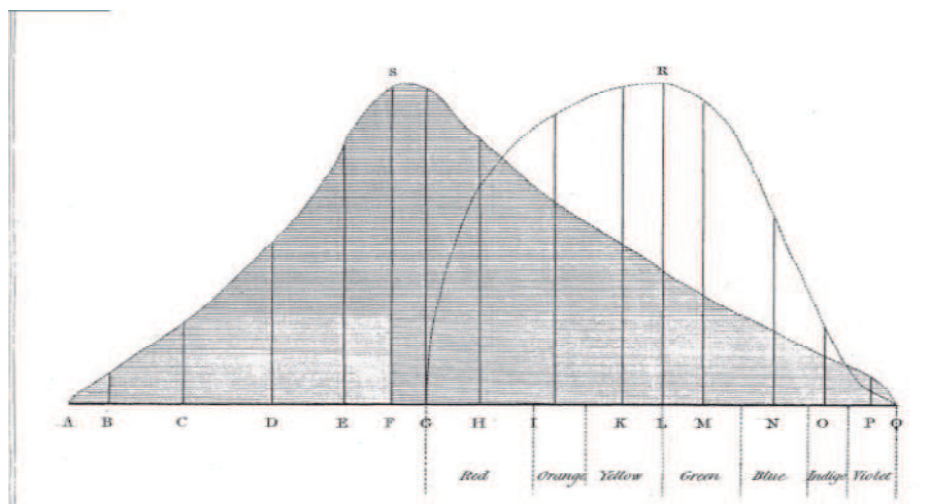


Figura 3: Representa o espectro de calor A,S,Q,A e de luz G,R,Q,G. Se um prisma é colocado em uma janela, de modo a lançar as cores da luz sobre uma mesa, e a figura acima é colocada sob as cores, elas podem cair respectivamente sobre os lugares, onde seus nomes estão inseridos ou então se pode levantar ou abaixar o prisma de modo a essas cores caberem em seus próprios espaços. Quando as cores ocupam suas próprias situações, a linha AQ expressaria o espaço no qual o prisma, pela sua diferente refrangibilidade, dispersa raios de calor; e as ordenadas AQ expressariam aproximadamente a elevação proporcional que um conjunto de termômetros igualmente variáveis experimentariam, quando colocados nas diferentes situações dessas ordenadas. Fonte: HERSCHEL, 1800d

Verificando os dois espectros é possível ver a diferença na dispersão pelo prisma, dos raios que produzem calor e os que ocasionam luz. Esses raios não concordam em sua refrangibilidade média, nem na situação de seu máximo: onde temos mais luz, temos pouco calor; e onde temos mais calor, não encontramos nenhuma luz. Então, Herschel questiona: *Como pode efeitos que são tão opostos, serem atribuídos para a mesma causa? Que modificação podemos supor ser acrescentada ao poder de produzir calor que produzem tais resultados inconsistentes?*

Novamente, Herschel recorre às regras de raciocínio filosófico de Newton para embasar seus argumentos, pois na sua segunda regra, Newton aponta que a similaridade de efeitos permite inferir similaridade de causas. Portanto, aos mesmos efeitos naturais devemos, na medida do possível, atribuir as mesmas causas. Herschel acima questiona como podem efeitos tão opostos serem atribuídos à mesma causa, para argumentar acerca da diferença entre luz e calor radiante. Fica evidente aqui, outra contradição no trabalho de Herschel. Inicialmente, ao conjecturar que *luz e calor radiante não são essencialmente diferentes*, Herschel (1800b) recorre a 1ª regra de raciocínio filosófico de Newton para argumentar em torno da relação entre luz e calor radiante, afirmando que não se pode



admitir diferentes causas para explicar certos efeitos, se eles podem ser descritos por uma. Agora, Herschel recorre à outra regra para enfatizar a diferença entre luz e calor radiante.

O final do espectro de calor acima pode indicar que essa radiação está diminuindo ou que o instrumento de detecção de Herschel não está mais absorvendo calor. Entretanto, Herschel não menciona esse fato. Com relação ao espectro de luz e de calor de Herschel, Melloni, em 1835, em uma apresentação de seu trabalho para *Académie des Sciences* Francesa, aponta que

(...) a natureza da fonte de calor, o tipo de prisma, seu ângulo de refração, e sua espessura todos afetam significativamente a distribuição de calor no espectro. O gráfico do poder luminoso no espectro deve ser entendido como uma ousada variação subjetiva na percepção de cor em vez de propriedades objetivas dos raios luminosos (HILBERT, 1999).

Outro problema, encontra-se no fato de Herschel ter dividido seu espectro de iluminação em sete cores, de acordo com a divisão de Newton. Na realidade, no espectro não temos sete cores divididas, temos um contínuo de infinitas cores. Newton também viu uma faixa contínua de cores. Entretanto, decidiu dividir em sete cores para associar com as sete notas musicais. Os pontos de separação entre as cores estão associados com os sons musicais. E como as diferenças entre as notas musicais não é homogênea, a separação entre as sete cores de Newton também não é igual para todas as faixas.

Posteriormente, ao analisar a *Transmissão dos raios que produzem calor* (*Proposição 5*), Herschel procura discutir a transmissão de calor através de corpos translúcidos. Entretanto, seus experimentos apresentam várias complicações, pois, Herschel não levou em consideração vários aspectos que poderiam interferir nos resultados de seus experimentos. Por exemplo, Herschel não levou em consideração que o bulbo (bola) do termômetro não absorveria igualmente qualquer tipo de coisa que o atingisse.

Nesta época, já se sabia que a melhor absorção de uma radiação depende das características da superfície. Entretanto, Herschel ignora este fato e compara a absorção de duas superfícies sem levar em consideração se a absorção é a mesma.

Herschel também não leva em consideração o fato de que o vidro utilizado para medir sua capacidade de transmissão, ao absorver uma parte da radiação esquentada, influenciando desse modo no resultado apresentado pelo termômetro. Ele simplesmente supõe que essa radiação interceptada some, não influenciando no resultado do experimento. Essa foi uma das objeções de John Leslie, na época, aos experimentos de Herschel. Leslie defendia que o calor não podia passar através de um sólido sem

primeiramente aquecê-lo, afetando assim o resultado dos experimentos de Herschel (HILBERT, 1999).

Para comparar a transmissão dos raios de calor solar com a transmissão dos raios de luz através de diferentes substâncias, Herschel fez seus experimentos utilizando a luz de uma vela, pois argumenta que não teve a oportunidade de providenciar experimento similar para a luz solar. Entretanto, ele deixa claro que ao comparar a interceptação do calor solar com essa da luz de uma vela, não iguala a luz terrestre a luz solar, mas supõe que a quantidade interceptada pelos vidros não é muito diferente. Deste modo, Herschel comete outro erro ao comparar a transmissão do calor solar com a transmissão da luz de uma vela.

Além disso, para analisar a iluminação da vela, Herschel utilizou o medidor de luz criado por Pierre Bouguer (1698 – 1758) em 1720, que era baseado na capacidade do olho em detectar diferenças na intensidade de luz. Entretanto, Leslie coloca que tentar medir cor pelo olho com precisão, parece completamente impraticável, se não uma tentativa absurda. E ao utilizar para comparar a intensidade de diferentes cores, Herschel adiciona mais erros ainda. Além do mais, tinha que levar em consideração a condição do Sol e da atmosfera.

Na época de Herschel, o método de comparação de intensidade luminosa era baseado na percepção visual. Para comparar a intensidade luminosa de duas velas diferentes, por exemplo, as velas seriam separadas por um anteparo opaco e duas folhas de papel seriam colocadas entre elas. Desse modo, o observador iria aproximando e afastando as folhas da vela até que visualmente o brilho das duas fosse igual. Então, usando a lei do inverso do quadrado da distância, que baseia-se no fato de que a luz é constituída por raios, comparava-se a intensidade luminosa das duas velas. Essas medidas tem como pressuposto teórico a lei do inverso do quadrado da distância e a percepção visual do brilho das duas superfícies de papel que eram aproximadas e afastadas das velas. Isto não permitia comparar o brilho de cores de diferentes, como Herschel fez. Dessa maneira, o uso de Herschel dessa metodologia para comparar o brilho das diferentes cores, não faz sentido.

No *Artigo VI* acompanhamos a discussão sobre *o Espalhamento do Calor Solar (Proposição 6)*. O espalhamento de calor é a reflexão deste em superfície ásperas de corpos. Herschel (1800d) define este princípio como de influência geral, visto que todos os corpos, mesmo os mais polidos são suficientemente ásperos para espalhar calor em todas as direções. Herschel realiza vários experimentos, para comparar o efeito de superfícies ásperas no calor e na luz.

Por fim, no *Artigo VII*, Herschel (1800d) discute “*Se luz e calor são ocasionados pelo mesmo ou por raios diferentes*”. Aqui, diferentemente de sua conjectura inicial, Herschel traz diversos argumentos para enfatizar a diferença entre os raios de luz e de calor.

Entre os argumentos que Herschel (1800d) traz acerca da diferença dos raios que ocasionam calor e luz é que a interceptação de calor solar é maior no início que no final das observações. Por outro lado, a transmissão da luz é instantânea. Portanto, segundo ele, a lei que governa a transmissão de calor é diferente dessas que governam a passagem de luz, sendo este um argumento irrefutável da diferença dos raios que ocasionam eles. Entretanto, como vimos Herschel (1800a) colocou que o seu termômetro exigia dez minutos para dar uma mudança. Aqui, Herschel (1800d) atribui essa demora na mudança da temperatura marcada pelo seu termômetro ao fato das diferentes substâncias interceptarem mais calor solar no início que no final das observações, como uma forma de argumentar a diferença na lei de transmissão de calor e de luz.

A suposição da diferença na lei de transmissão de calor e de luz é corroborada, segundo Herschel (1800d) ao analisarmos a transmissão através da superfície áspera. O vidro óptico, por exemplo, quando teve um de seus lados esfregado na lixa (deixando-o áspero), interceptaria 205 raios de calor a mais que quando essa superfície estava polida. Porém, este efeito é muito mais considerável nos raios de luz: a interceptação adicional deles chega a não menos que 651. Como a construção interior desses vidros, antes e depois de ter sido esfregado na lixa, permanece a mesma, esses efeitos poderiam ser apenas atribuídos a aspereza de sua superfície. Portanto, Herschel concluiu que como a mesma causa, quando age sobre os raios de luz e calor, produz efeitos muito diferentes, esses podem apenas ser explicados admitindo que os raios deles são de natureza diferente, e portanto, sujeitos também a diferentes leis ao serem espalhados. Tínhamos que os raios de calor são menos refrangíveis que os raios de luz, e agora aparece que eles são também menos espalháveis, afirma Herschel (1800d).

### **3.3. Algumas considerações sobre o trabalho de Herschel**

Os experimentos de Herschel são feitos em meio aos seus trabalhos astronômicos. Ele desenvolve um trabalho eminentemente experimental e, em termos de matemática, trabalha apenas com algumas proporções simples. Entretanto, vale ressaltar alguns

questionamentos que Herschel faz e as conclusões à que chega. Por exemplo, quando Herschel realiza experimentos refletindo e refratando calor advindo de diferentes fontes, nos quais ele busca resposta para a natureza do calor, suas conclusões são que os raios de calor não diferem dos raios de luz. Apesar de partir de conjecturas sobre experimentos específicos, Herschel entende ter chegado a um resultado geral quanto à natureza dos raios de luz e calor.

Mais adiante, tais conclusões são contraditas, pois ao realizar experimentos analisando a transmissão e o espalhamento dos raios de calor, Herschel encontra diferenças notáveis entre os raios de luz e de calor. Ele conclui que esses raios não tem nada em comum, além de certo grau de refrangibilidade e ressalta também que os raios de calor são menos espalháveis que os raios de luz.

Ao analisar o desenvolvimento dos experimentos de Herschel, encontramos alguns erros que poderiam ser facilmente percebidos por pesquisadores da época. Herschel não descreve o que não fez e o que provavelmente deu errado. Percebemos que ao começar a investigar sobre o calor, Herschel está entrando em um terreno no qual ele não tem experiência, nem, talvez, conhecimento das pesquisas sobre calor da época, ou então não as cita. Como mencionamos anteriormente, resultados sobre o calor radiante já tinha sido obtidos por Pictet que, em 1790, notou que o termômetro colocado no foco de um espelho côncavo registrou imediatamente um aumento na temperatura quando um corpo quente era colocado no foco de um segundo espelho, coaxial com o primeiro, mas a uma longa distância deste. Além disso, Hutton, em 1794 identifica luz com o calor radiante, considerando que o corpo quente convertia calor em luz e que essa na absorção, tornava-se calor novamente. Estes resultados não foram mencionados por Herschel em nenhum dos quatro trabalhos de 1800.

É importante ressaltar também que Herschel não estava pensando em termos de frequências do espectro eletromagnético, uma vez que esse conhecimento ainda não estava desenvolvido no início do século XIX. Porém, em termos do conhecimento disponível atualmente, percebemos ao analisar o espectro eletromagnético que o resultado encontrado por Herschel em seus experimentos corroborava com a posição defendida por Young. Ao aproximar-se do extremo dos raios vermelhos no espectro, percebemos que há uma diminuição na frequência de vibrações. Desta maneira, na visão de Young teríamos aí uma maior produção de calor. Foi exatamente isto que Herschel encontrou em seus experimentos, que o calor aumenta quando o termômetro aproxima-se do extremo dos

raios vermelhos no espectro prismático. E mais, que este é ainda mais intenso quando ultrapassa o limite do visível na direção do infravermelho, onde a frequência de vibrações é ainda menor. Vejamos a figura a seguir:

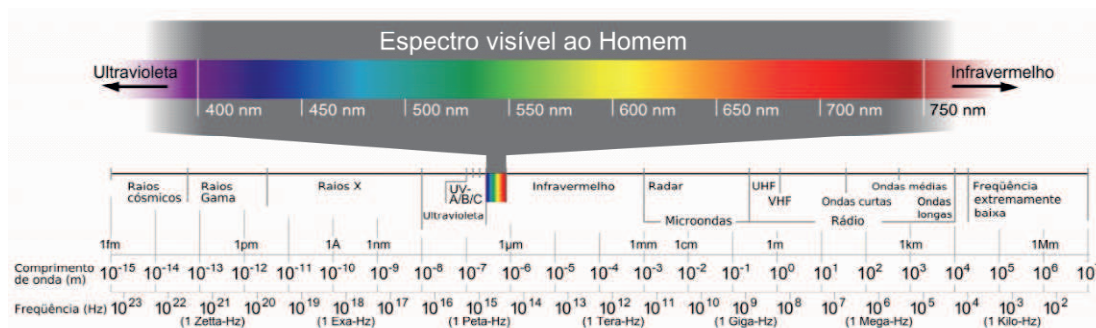


Figura 4: Espectro Eletromagnético. Fonte: [https://www.google.com.br/search?hl=en&biw=1093&bih=534&site=imghp&tbn=isch&sa=1&q=espectro+eletromagn%C3%A9tico&btnG=#facr=\\_&imgdii=\\_&imgcr=dEsUh1b5EwYkMM%253A%3BJbr-37K8meHxOM%3Bhttp%253A%252F%252Fdc358.4shared.com%252Fdoc%252F0uK-NpBU%252Fpreview009.png%3Bhttp%253A%252F%252Fdc358.4shared.com%252Fdoc%252F0uK-NpBU%252Fpreview.html%3B1516%3B1071](https://www.google.com.br/search?hl=en&biw=1093&bih=534&site=imghp&tbn=isch&sa=1&q=espectro+eletromagn%C3%A9tico&btnG=#facr=_&imgdii=_&imgcr=dEsUh1b5EwYkMM%253A%3BJbr-37K8meHxOM%3Bhttp%253A%252F%252Fdc358.4shared.com%252Fdoc%252F0uK-NpBU%252Fpreview009.png%3Bhttp%253A%252F%252Fdc358.4shared.com%252Fdoc%252F0uK-NpBU%252Fpreview.html%3B1516%3B1071)

Para analisarmos melhor o trabalho desenvolvido por Herschel fomos à busca de fontes secundárias que retratassem suas pesquisas. Entre elas, temos Lovell (1968) que analisa o dilema de Herschel na interpretação da radiação térmica e Hilbert (1999) que discute as limitações dos experimentos de Herschel.

Na opinião de Lovell (1968), Herschel falhou ao descrever suas observações iniciais do efeito de aquecimento além do vermelho, pois ao resumir as observações de seus experimentos, ele colocou que o vermelho escuro ainda está aquém do máximo de calor, o que talvez esteja um pouco além da refração visível. Por outro lado, ele também parecia estar próximo da explicação aceita atualmente, escrevendo que o calor radiante consiste parcialmente, se não totalmente de luz invisível. Ele admite que os órgão da visão são adaptados para receber impressões de partículas de um certo momento, assim o máximo de iluminação ocorreria no meio dos raios refrangíveis. E esses que tem grande ou pequeno momento, seriam inadequados para visão.

Herschel anunciou, como vimos, sete proposições para indicar as características dos raios de calor, que sugeriam para radiação térmica um paralelo com essas conhecidas para luz. Porém, com o decorrer das investigações os experimentos começaram a apontar algumas diferenças entre esses raios e Herschel afirma então, que seus experimentos determinarão se luz e calor são ocasionados pelos mesmos raios ou não.

Na *Proposição 5*, os experimentos trouxeram resultados inesperados, e talvez o grande número de dados tendeu a obscurecer a natureza da radiação térmica. Além do

mais, provavelmente o aparato não possuía alta precisão e o uso de Herschel em comparar o brilho das diferentes cores adicionou mais erros. Hilbert (1999) coloca que muitos dos dados obtidos por Herschel nestes experimentos de transmissão eram problemáticos, devido a problemas na sensibilidade dos termômetros e no tamanho do prisma utilizado por Herschel para separação das cores, bem como devido ao fato de que as reflexões internas e externas, e a dispersão de raios em cada uma das superfícies do prisma, lançam obscuridade nos resultados de experimentos feitos com prismas.

Lovell (1968) coloca que o dilema de Herschel surge do conflito de dados pobres e um conceito incompleto da natureza da radiação e de percepção. O primeiro sugeriu, entre outras coisas, que o vidro azul absorve menos luz vermelha que o vidro vermelho. O último sugeriu que a distribuição dos raios de luz e calor era devido simplesmente a peculiaridades da emissão em vez da combinação destes e a suscetibilidade do destinatário. Além disso, a teoria corpuscular da luz defendida por Herschel, não era tão boa para explicar as similaridades de luz e calor como era a teoria ondulatória. A última recebeu renovado interesse após a *Bakerian Lecture* de Young, em 1801, que dependiam em parte dos dados de Herschel.

A preferência de Herschel pela teoria da emissão de luz deve ter lhe proporcionado base para concluir que os dois tipos de raios eram diferentes. Herschel afirma que não está contra a teoria ondulatória da luz. Mas se os raios, tanto de luz quanto de calor radiante são compostos de partículas, é mais fácil pensar em maneiras de distingui-los. As partículas podem ser diferentes no tamanho, massa, textura e cor, além de diferir em seus movimentos. Herschel defendia que as partículas possuíam momentos diferentes.

Ao considerar luz e calor como raios diferentes, Herschel foi levado a uma interpretação adicional errônea, intensificando o dilema. Herschel recorre a explicações metafísicas para seus dados. Ele sugere que nossos sentidos são adaptados para responder a vários mecanismos e que não deve ser apropriado um único mecanismo ser a causa de tais sensações diferentes (luz e calor), como a delicada percepção da visão, e a mais grosseiras de todas afecções, que são comuns em nossos corpos, quando expostos ao calor (LOVELL, 1968; HILBERT, 1999).

A descoberta de Herschel foi recebida com diferentes reações (HILBERT, 1999; LOVELL, 1968), pois ocorreu em um período no qual descobertas eram frequentemente anunciadas, e o conceito de ciência requeria frequente revisão. A hipótese de que algumas

emissões radiantes do Sol são invisíveis parecia inacreditável para muitos (LOVELL, 1968).

Ao divulgar seus resultados Herschel foi objeto de críticas positivas e negativas. As primeiras vieram principalmente daqueles que viam em seu trabalho uma possibilidade de afirmar a natureza ondulatória tanto da luz quanto do calor radiante. É o caso de Thomas Young (1773-1829), que utilizou os dados de Herschel para fortalecer a hipótese ondulatória<sup>13</sup> da luz em suas *Bakerian Lecture* de 1801. Por outro lado, a separação entre luz e calor fornecia elementos que fortaleciam a hipótese do calórico, defendida por alguns cientistas britânicos na época<sup>14</sup>. Herschel recebeu muitos elogios do presidente da Royal Society, Joseph Banks (1743-1820), que comparou sua “*descoberta como a mais importante desde a morte de Sir Isaac Newton*” (HILBERT, 1999) e apresentou seu trabalho a Cavendish e a outros pesquisadores da época.

As críticas negativas, e incisivas, vieram de John Leslie<sup>15</sup> (1766-1832), que ao tomar conhecimento dos dois primeiros artigos de Herschel, enviou um comunicado ao editor do *Nicholson's Journal* para que emitisse um alerta contra a autoridade de um astrônomo cuja “*autoridade na presente situação retardaria o progresso da ciência por fornecer opiniões que, estou totalmente convencido, são inaccuradas e infundadas*” (HILBERT, 1999). As críticas de Leslie eram voltadas tanto aos procedimentos experimentais de Herschel, os quais ele julgava terem levado a resultados questionáveis; quanto aos aspectos metafísicos. Por exemplo, Herschel não considerou que o aquecimento próximo aos bulbos no experimento com o espectro poderia ser devido ao aquecimento do ar. Leslie acreditava que o ar era necessário para a radiação de calor. Ele preferiu chamar o processo de pulsação, porque acreditava que quando uma camada de ar entra em contato com o corpo aquecido, este absorve algo de calor – um fluido elástico – que leva a camada a expandir; a camada expandindo passaria calor para próxima camada e recairia em direção ao corpo quente para buscar carregar-se. Portanto, calor se moveria em pulsos que viajariam na velocidade do som (HILBERT, 1999).

Ao criticar os experimentos de Herschel, Leslie defende que quando o espectro é recebido no suporte o instrumento próximo é afetado em parte devido à luz refletida, mas

---

<sup>13</sup> Para aprofundar questões relativas à natureza da luz no início do século XIX, sugerimos (DARRIGOL, 2012, p. 166-224).

<sup>14</sup> Para aprofundar questões de natureza do calor, sugerimos (SILVA, et. al., 2013).

<sup>15</sup> John Leslie, escocês, desenvolveu investigações sobre medidas de calor, recebendo a Medalha Rumford, da Royal Society, em 1804 pelo seu trabalho *Experimental Inquiry into the Nature and Properties of Heat* (LESLIE, 1804).

principalmente devido à ação do ar aquecido acumulado sobre a superfície iluminada. Desse modo, os resultados seriam alterados em todos os casos em que o instrumento não estivesse completamente isolado. Leslie também defendia que é muito difícil, onde existe uma fonte ativa de calor, obter uma temperatura uniforme, especialmente em uma pequena sala. Outra crítica estava quanto à definição de “raios invisíveis”, já que Leslie não assumia que uma radiação pudesse incidir no olho e não ser vista. Leslie defendeu a existência de luz branca em cada final do espectro, que seria responsável pelo aquecimento, de modo que esse não seria atribuído aos raios invisíveis (LOVELL, 1968).

Leslie, assim como Herschel, colocou um prisma em uma janela, mas em vez de projetar o espectro para baixo em uma superfície horizontal, ele lançou as cores em uma direção horizontal. O violeta estava em cima, e o vermelho na parte inferior. Leslie mediu o calor causado por cada um dos raios prismáticos recebidos com um termômetro de ar, que ele mesmo confeccionou. Leslie descreveu as temperaturas encontradas em cada uma das quatro cores que ele acreditava ser fundamental: azul (1 grau); verde (4 graus); amarelo (9 graus) e vermelho (16 graus). Ele não encontrou nenhum aumento além da extremidade vermelha ou azul do espectro. E atribuiu os resultados positivos de Herschel além do vermelho para as correntes de ar quente e raios incidentes coloridos, refletidos do topo da mesa para os termômetros.

Além de Leslie, haviam outros nomes reconhecidos na época (Baden Powell, Bewster, entre outros) que negavam a existência de raios invisíveis (HILBERT, 1999).

No que concerne às limitações experimentais do trabalho de Herschel, Hilbert (1999) coloca que ao utilizar o medidor de luz criado por Pierre Bouguer (1698 – 1758) em 1720, Herschel estava ciente dos problemas relacionados a este instrumento que era baseado na capacidade do olho em detectar diferenças na intensidade de luz. Hilbert aponta que Herschel ainda estava ciente que a luz solar podia diferir da luz terrestre. Deste modo, ao utilizar o medidor de luz de Bouguer que tomava sua iluminação de uma vela, Herschel não tinha um método válido para medir a quantidade de luz solar interceptada por vidros coloridos.

Herschel também sabia que não poderia conseguir uma separação completa das cores, pois seu prisma era muito grande e por causa do diâmetro finito do Sol. Ele colocou um pedaço de papelão sobre o prisma com uma fenda de 1/10 polegada nele, de modo a reduzir o seu tamanho efetivo, mas descobriu que a radiação era muito fraca para aquecer



seus termômetros. Assim, ele admitiu que a imperfeita separação das cores não afetava substancialmente seus experimentos.

Thomas Young, então professor de filosofia natural na *Royal Institution*, pediu a Sr. Henry C. Englefield para repetir os experimentos de Herschel, de modo a assegurar a *Royal Institution* a validade dos experimentos de Herschel ou das objeções de Leslie. Para fazer isto, ele utilizou um aparato diferente do utilizado por Herschel, que consistia de um prisma equilátero por meio do qual o espectro era atirado sobre uma lente de 22 polegadas de distância focal. Uma tela grossa de papelão branco, que tinha uma ranhura de 3 polegadas de comprimento (o comprimento do prisma) e 2% polegadas de largura, estava sobre a lente. Isto permitiu-lhe isolar as várias cores. A lente foi colocada a 3 pés do prisma, de modo que os termômetros não fossem aquecidos por correntes de convecção. Englefield confirmou as afirmativas de que o máximo de radiação térmica ocorre além do limite do vermelho visível. Assim, a existência do calor radiante invisível parecia ser válida. Englefield também introduziu observações originais que contribuíram no estabelecimento da validade dos raios invisíveis.

Não houve resposta de Herschel às críticas de Leslie; nem mesmo trabalhos posteriores dele em que os experimentos são refeitos com maior precisão. Em vários momentos de suas observações, Herschel reconhece a imprecisão das medidas e até mesmo suas dúvidas quanto às interpretações dos resultados. Porém, sua conclusão final é de que calor radiante e luz são *diferentes*, e, portanto, em desacordo com o que defendemos atualmente baseados no espectro eletromagnético.

A posição dos raios invisíveis de calor permaneceu instável até bem depois. Macedonio Melloni afirmou, em 1843, que: “Luz é simplesmente uma série de sinais caloríficos sensíveis aos órgãos da vista, ou vice versa, e as radiações do calor são verdadeiras radiações invisíveis de luz” (MELLONI, apud HILBERT, 1999, p. 375). Herschel tinha adotado isto como sua primeira hipótese, mas depois a rejeitou. Quando Melloni trouxe seus experimentos em 1830, ele compartilhou a visão de Herschel que calor radiante e luz são essencialmente diferentes. Apenas depois de mais de uma década de trabalho, ele chegou a visão moderna.

Hilbert (1999) coloca que Herschel e Leslie contribuíram para a conclusão de Melloni ao levantar questões que demandavam respostas. Herschel encontrou o máximo poder de aquecimento além do vermelho. Leslie não encontrou nenhum calor além da luz visível.

Ambos, Herschel e Leslie se preocuparam sobre a pureza do espectro. Herschel tinha esperança de produzir um espectro puro em seus primeiros experimentos cobrindo a maior parte da face do prisma e permitindo a luz entrar apenas através de uma pequena abertura. Entretanto, ele abandonou essa precaução porque seus termômetros não eram sensíveis suficiente. Em 1844, Melloni usou muitos do mesmo procedimento, mas com detectores mais sensíveis, para explicar discrepâncias observadas por outros experimentos.

Herschel havia especulado que as cores podiam ter diferentes propriedades químicas<sup>16</sup>, porque o princípio ácido podia ser desigualmente distribuído no espectro. Influenciado por essas conjecturas de Herschel, J. W. Ritter descobriu mudanças químicas além do violeta, que foi um importante passo no desenvolvimento do espectro. Porém, ele não levou filósofos naturais contemporâneos a pensar o espectro de luz em termos de uma entidade contínua.

Apesar das limitações do trabalho de Herschel, ele contribuiu para o desenvolvimento do espectro ao levantar questões cujas respostas levaram a outras investigações.

---

<sup>16</sup> Talvez Herschel tivesse conhecimento dos trabalhos de Karl Wilhelm Scheele (1726-1786) sobre o escurecimento do cloreto de prata sob as cores do espectro (HILBERT, 1999).

#### 4. ASPECTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa dividiu-se em duas etapas gerais. A primeira etapa consistiu na busca e análise bibliográfica de fontes que permitiram compreender o episódio histórico, em todos os seus aspectos. Nesse intuito, foram consultadas fontes primárias e secundárias. A leitura de textos originais, nos proporcionou um contato direto com as ideias dos pesquisadores, sem interferência das interpretações de autores de obras secundárias. Porém, a consulta a obras secundárias também foi importante, uma vez que nos permitiu um mapeamento do contexto científico da época.

Dessa maneira, confeccionamos um capítulo teórico, abordando o Desenvolvimento do conceito de Calor como Radiação em fins do século XVIII, considerando os estudos de alguns pesquisadores que antecederam a elaboração dos trabalhos publicados por Herschel, em 1800. Ou seja, mapeamos o contexto socioeconômico e científico, no qual Herschel desenvolveu suas pesquisas.

Analizamos quatro artigos, publicados por Herschel, na *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, em 1800, que estão interligados e se complementam:

1º) *Investigation of the Powers of the Prismatic Colours to Heat and Illuminate Objects; With Remarks, That Prove the Different Refrangibility of Radiant Heat. To Which is Added, an Inquiry into the Method of Viewing the Sun Advantageously, with Telescopes of Large Apertures and High Magnifying Powers*: discute o poder de aquecer e iluminar das diferentes cores do espectro prismático, bem como a diferente refrangibilidade dos raios de calor.

2º) *Experiments on the Refrangibility of the Invisible Rays of the Sun*: Herschel procura estabelecer a existência dos raios invisíveis de calor.

Ao encontrar radiação além do espectro visível, Herschel desenvolve uma série de estudos visando comparar, através de experimentos, as características observadas nos raios de calor e de luz, de modo a determinar se eles são ocasionados pelos mesmos raios ou não. Esses estudos são apresentados nos seguintes trabalhos:

3º) *“Experiments on the Solar, and on the Terrestrial Rays that Occasion Heat; With a Comparative View of The Laws to Which Light and Heat, or Rather the Rays Which Occasion them, are Subject, in order to Determine Whether They are the Same, or Different” Parte I*: Herschel discute a Reflexão e Refração dos raios de calor.

4º) *“Experiments on the Solar, and on the Terrestrial Rays that Occasion Heat; With a Comparative View of The Laws to Which Light and Heat, or Rather the Rays Which*

*Occasion them, are Subject, in order to Determine Whether They are the Same, or Different” Parte II:* Herschel traz o estudo da diferente refrangibilidade do raios de calor; sua interceptação através de corpos translúcidos; seu espalhamento em superfícies ásperas e por fim, discute se luz e calor são ocasionados pelos mesmos raios ou não.

Pretende-se que a abordagem do episódio histórico da nossa pesquisa ressalte a importância de estudar a Física através do processo histórico, ressaltando os aspectos conceituais, epistemológicos e metodológicos envolvidos no fazer científico.

A partir do capítulo teórico produzimos um material paradidático (segunda etapa de nossa pesquisa). No material paradidático, a partir das hipóteses elaboradas por Herschel e os resultados a que chega, propomos a discussão de aspectos conceituais como a constituição do espectro de luz, os fenômenos de refração e reflexão da radiação infravermelha e as medidas de intensidade luminosa. Aspectos epistemológicos e metodológicos também são considerados como a questão causa-efeito bem como a precisão de medidas e as discordâncias que o experimento gerou na época.

No material paradidático, contextualizamos as atividades de Herschel, apresentamos alguns de seus experimentos sobre calor radiante e uma possibilidade de reprodução didática e destacamos as consequências de seus resultados em tecnologias atuais que envolvem radiação infravermelha.

### **Material Paradidático**

A partir do nosso estudo teórico acerca do conceito de calor como radiação em fins do século XVIII, elaboramos um material, com uma linguagem mais acessível, no intuito de oferecer um material conceitual que aborde o estudo de radiação, através de uma perspectiva histórica, de forma clara e de fácil compreensão. Dessa maneira, elaboramos um material paradidático, discutindo aspectos relacionados ao artigos publicados por Herschel, que são mencionados acima.

Para elaboração do material paradidático, fomos em busca de diversas referências que pudessem nos ajudar na transposição didática da HFC para o material a ser divulgado. Nesse sentido, o principal referencial teórico que utilizamos, são as diretrizes apontadas por Stinner et. al. (2003) para elaborar estudos de casos históricos.

Stinner et. al. (2003) defende que é necessário apresentar aos estudantes que as ideias científicas são produtos do pensamento científico criativo de uma cultura em um

determinado período de tempo. Então, faz-se necessário apresentar cuidadosamente esses episódios de HFC utilizados no ensino de ciências, de modo a ilustrar a criatividade, o esforço intelectual envolvido, a dificuldade de comunicação e persuasão dos pares, e a necessidade de chegar a um acordo sobre definições, princípios, leis e teorias. Nessa perspectiva, Stinner et. al. (2003) apresenta alguns modo de inserir a HFC no ensino, seja através de vinhetas históricas ou estudos de casos históricos.

Os estudos de casos históricos podem ser apresentados sob diferentes perspectivas:

- i) Contexto histórico: nesta perspectiva, as ideias científicas do período são apresentadas e correlacionadas com os principais fatos científicos do período;
- ii) Experimentos e ideias principais: as ideias principais e o suporte empírico que é central para o estudo de caso são apresentados;
- iii) O estudo de caso é utilizado de forma a mostrar a confrontação de ideias, através de debates históricos; narrativas que mostrem a interdisciplinaridade envolvida no episódio histórico ou pela dramatização, com a realização de peças de teatro que apresentem os diferentes pontos de vista coexistentes (STINNER et. al., 2003).

As diretrizes apontadas por Stinner et. al. (2003) para elaborar estudos de casos históricos são:

1. Mapear o contexto com uma ideia central importante na ciência e que capture a imaginação do estudante.
2. Vincular essa ideia central com o cotidiano do estudante, de modo que a ideia central passe a fazer sentido para ele.
3. Assegurar que as principais ideias, conceitos e problemas são gerados pelo contexto naturalmente.
4. Buscar que o estudante fique envolvido e compreenda as situações problemas envolvidas.
5. Mapear e desenhar o contexto juntamente com os estudantes, onde o professor assume o papel de líder da pesquisa, na qual os estudantes colaboram.
6. Resolver os conflitos que foram gerados pelo contexto e encontrar conexões entre as ideias e conceitos discutidos com as ideias correspondentes de hoje.

Nosso material paradidático se enquadra no item (ii) das perspectivas de apresentação de casos históricos apontadas por Stinner et. al. (2003), em que um experimento é aprofundado para estudar a constituição do espectro de luz. Desta maneira,

1) contextualizamos as atividades de William Herschel, de modo a capturar a imaginação do estudante; vinculamos a ideia central (radiação de calor) com o cotidiano do

estudante. Para isso, apresentamos exemplos de situações que envolvem calor irradiado em suas vidas, bem como aplicações da radiação infravermelha em aparelhos e dispositivos utilizados atualmente, de modo que a ideia central passe a fazer sentido para ele;

2) Discutimos as atividades experimentais de Herschel e apresentamos uma possibilidade de reprodução didática, buscando que o estudante fique envolvido e compreenda as situações-problema envolvidas nas atividades experimentais;

3) trabalhamos conceitos como constituição do espectro eletromagnético, reflexão e refração da radiação infravermelha, bem como aspectos epistemológicos e metodológicos das pesquisas de Herschel;

4) por fim, destacamos as consequências de seus resultados em tecnologias atuais que envolvem radiação infravermelha - câmera infravermelha, leitor de código de barras, fotodetectores, etc.

### **Reprodução Didática**

Para construir uma proposta de reprodução didática de um dos experimentos de Herschel, tomamos como base a proposta apresentada no site do Cool Cosmos<sup>17</sup>. Na proposta do Cool Cosmos, um prisma de vidro dispersa os raios do Sol dentro de uma caixa de papelão e três termômetros de álcool com seus bulbos escurecidos marcam o aumento de temperatura nas cores azul, amarelo e além do vermelho, respectivamente. De maneira que o experimento proposto por eles visa mostrar que a maior diferença de temperatura nos termômetros, ou seja, o maior aumento, ocorre justamente na região do infravermelho.

Entretanto, a primeira dificuldade apresentada foi encontrar prisma adequado para dispersar os raios advindos do Sol. O prisma que conseguimos obter não permitia o infravermelho passar. Desta maneira, tivemos que fazer uma adaptação do experimento proposto no Cool Cosmos de modo a medir o aquecimento nas diferentes cores do espectro (vermelho, verde e azul) e não o aquecimento além do vermelho visível. Assim, nossa reprodução didática é do experimento em que Herschel mede o “grau de aquecimento” das diferentes cores do espectro. Este experimento encontra-se no primeiro dos quatro trabalhos de Herschel apresentados anteriormente.

---

<sup>17</sup> Disponível em:

[http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic\\_classroom/classroom\\_activities/herschel\\_experiment2.html](http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/classroom_activities/herschel_experiment2.html).

Como materiais, utilizamos: 1) Um prisma de vidro em seu suporte; 2) Três termômetros de álcool; 3) Marcador preto permanente; 4) Tábua branca de madeira que serviu de suporte para os termômetros.

Primeiramente, os bulbos do termômetro foram ser escurecidos (os bulbos pintados tendem a produzir melhores resultados, pois absorvem melhor o calor). Pintamos os bulbos com marcador permanente, cobrindo cada bulbo com aproximadamente a mesma quantidade de tinta. Depois que a tinta do marcador estava completamente seca nos bulbos dos termômetros, colocamos os termômetros juntos na tábua branca de madeira de tal forma que as escalas de temperatura estivessem alinhadas. A região abaixo dos bulbos dos termômetros também foi escurecida com marcador permanente.

O experimento foi realizado ao ar livre em um dia ensolarado. Colocamos a face do prisma em direção ao Sol e giramos o prisma até o mais vasto possível espectro aparecesse em uma parte sombreada de uma superfície horizontal. Registramos a temperatura ambiente com os três termômetros e colocamos então, o suporte de madeira com os três termômetros dispostos em uma linha, no espectro prismático formado pelo prisma, de modo que um dos bulbos ficou na região do azul, outro na região do verde e o terceiro na região vermelha.

Após cerca de cinco minutos, as temperaturas dos termômetros atingiram seus valores finais. Obtivemos os seguintes dados:

	<b>TERMÔMETRO 1</b>	<b>TERMÔMETRO 2</b>	<b>TERMÔMETRO 3</b>
<b>TEMPERATURA NA SOMBRA</b>	27° C	27° C	27° C
<b>TEMPERATURA NO ESPECTRO</b>	<b>TERMÔMETRO 1 (AZUL)</b>	<b>TERMÔMETRO 2 (VERDE)</b>	<b>TERMÔMETRO 3 (VERMELHO)</b>
<b>DEPOIS DE 5 MINUTOS</b>	29° C	31° C	32° C

Diferenças entre as temperaturas finais medidas no espectro e as temperaturas medidas na sombra para os três termômetros.

	<b>TERMÔMETRO 1 (AZUL)</b>	<b>TERMÔMETRO 2 (VERDE)</b>	<b>TERMÔMETRO 3 (VERMELHO)</b>
<b>T<sub>espectro</sub></b>	29° C	31° C	32° C
<b>T<sub>sombra</sub></b>	27° C	27° C	27° C
<b>Diferença (T<sub>espectro</sub>-T<sub>sombra</sub>)</b>	2° C	4° C	5° C

Dessa maneira, construímos nosso próprio aparato e fizemos a reprodução didática, que encontra-se no material paradidático. Medimos a temperatura nas diferentes cores do espectro, encontrando um aumento de 2°C no azul, 4°C no verde e 5°C no vermelho. Deste

modo, corroboramos a hipótese de que o maior aquecimento ocorre em direção à região vermelha do espectro.

Por fim, salientamos que este experimento se mostra válido, na medida em que mostra o aumento de temperatura ao longo das diferentes cores do espectro, permitindo que os alunos compreendam melhor a constituição do espectro prismático.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No que concerne à inserção da História e Filosofia da Ciência no ensino de ciências, a pesquisa bibliográfica nos permitiu perceber que esta não é uma discussão nova entre as pesquisas em ensino de ciências. Também foi possível compreender que diversas facetas estão associadas ao ato de ensinar ciências, em especial a Física, a partir de uma abordagem histórica. Alguns obstáculos acerca da inclusão da HFC no ensino de ciências são apresentados de forma mais evidente entre os pesquisadores. Entre eles, uma má formação inicial dos professores, que não lhes proporciona um embasamento crítico para discutir com os estudantes uma HFC confiável e a falta de material histórico confiável disponível aos professores e estudantes do ensino médio.

É neste sentido, que propomos a partir do episódio histórico estudado um material paradidático que possa contribuir no estudo da radiação, dentro do estudo histórico do desenvolvimento do conceito de calor como radiação em fins do século XVIII, especialmente através do estudo dos trabalhos de William Herschel sobre a relação calor radiante.

O episódio histórico estudado demonstrou-se muito rico sob diversos aspectos. O mesmo ocorre sob a influência de estudos sobre ondas, natureza da luz e natureza do calor. Desta maneira, é possível perceber a influência das concepções da óptica, bem como do modo de fazer ciência de Newton e Bacon nos trabalhos de Herschel. Percebemos também nos trabalhos de Herschel, a presença do espírito quantitativo e experimental que demarcava a ciência da época.

Com relação aos aspectos epistemológicos do trabalho de Herschel, é importante enfatizar que o mesmo não estava pensando em termos do espectro eletromagnético. Ele via em seus experimentos, um modo de estabelecer a existência dos raios invisíveis de calor. Apesar de inicialmente ter conjecturado que luz e calor eram ocasionados pelos mesmos raios, após os experimentos, Herschel aponta diversos argumentos para enfatizar a diferença entre os raios que ocasionam luz e calor, ora baseando-se nos dados obtidos em seus experimentos, ora apelando para argumentos atualmente considerados como metafísicos.

As conclusões a que Herschel chega após seus experimentos de transmissão e espalhamento dos raios de calor são completamente diferentes das aceitas atualmente.

Herschel aceita que seria possível ter luz visível que absolutamente não esquenta, mesmo quando concentrada por lentes e que também poderíamos ter, com a mesma refrangibilidade, raios de calor que mesmo concentrados não dão nenhuma luz. Ou seja, Herschel concluiu que poderia existir só luz ou só calor com o mesmo desvio por um prisma, o que sabemos que não pode ocorrer.

Apesar das teorias de Herschel e Leslie terem sido abandonadas, tentativas de tratar suas preocupações e diferenças contribuíram para o desenvolvimento do espectro eletromagnético (HILBERT, 1999). Desta maneira, podemos perceber que apesar de Herschel não ter interpretado apropriadamente a natureza da radiação térmica, uma vez que ele considerou luz diferente de calor radiante, ele trouxe um enorme ímpeto para estudos nesta área. Experimentos logo começaram a ser feitos em laboratórios para resolver se luz e calor eram ocasionados pelos mesmos raios ou não.

A análise feita nos leva a concluir que apesar das limitações do trabalho de Herschel, ele contribuiu para o desenvolvimento do espectro ao levantar questões cujas respostas levaram ao desenvolvimento do espectro. Assim, a utilização do presente episódio histórico pode ser de grande valia na inserção de conceitos de física atual no ensino, como o caso do mapeamento de imagens usando infravermelho.

Em relação ao nosso material paradidático, acreditamos que o mesmo se mostra válido na medida em que além de discutir o episódio histórico, traz uma possibilidade de reprodução didática, de modo a incentivar a participação dos alunos na discussão da temática e apresenta ainda a relação da descoberta da radiação infravermelha com dispositivos atuais que utilizam tal tecnologia, permitindo trabalhar também a constituição do espectro eletromagnético.

Por fim, salientamos que conseguimos responder as nossas problemáticas iniciais, na medida em que além de estudar o episódio histórico, conseguimos elaborar um material paradidático no qual os diversos conceitos físicos relacionados aos primeiros estudos envolvendo radiação fossem trabalhados, a saber, constituição do espectro de luz, fenômenos de refração e reflexão da radiação infravermelha, entre outros. Desta maneira, acreditamos ser possível contribuir para o estudo da radiação através do episódio histórico estudado, tomando como suporte o material paradidático elaborado.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLCHIN, D. Why respect for history – and historical error – matters. *Science & Education*, v.15, n.1, p. 91-111, 2006.
- BARNETT, M. K. The development of the concept of heat I, *The Scientific Monthly*, New York, v. 62, n. 2, p. 165-172, 1946.
- BRASIL, Ministério da Educação e Cultura, República Federativa do Brasil. Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio. Brasília: MEC, 2000.
- BRASIL, Ministério da Educação, República Federativa do Brasil. Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica. Brasília: MEC, SEB, DICEI, 2013, 562p.
- BRUSH, S. G. The Wave Theory of Heat: A Forgotten Stage in the Transition from the Caloric Theory to Thermodynamics. *The British Journal for the History of Science*.v.5, n.2, p. 145 – 167, dez. 1970.
- CARVALHO, A. M. P. de; VANNUCCHI, A. I. History, Philosophy and Science Teaching: Some Answers to “How?” *Science & Education*. v. 9, p. 427-448, 2000.
- DARRIGOL, O. *The history of optics: from Greek antiquity to the nineteenth century*. Oxford: University Press, 2012.
- FORATO, T. C. M. *A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz*. Tese de Doutorado em Educação. USP, São Paulo, 2009. v. 1, 204 p.
- FORATO, T. C. M.; MARTINS, R. A.; PIETROCOLA, M.; History and Nature of Science in High School: Building Up Parameters to Guide Educational Materials and Strategies. *Science & Education*, v. 21, n. 5, p. 657-682, 2012.
- FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e Natureza da Ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 28, n. 1, p. 27-59, abr. 2011.
- GIL-PÉREZ, D. *Formações de professores e inovações* / Daniel Gil-Pérez, Anna Maria Pessoa de Carvalho; revisão técnica da autora: (tradução Sandra Valenzuela). 7. ed. – São Paulo: Cortez, 2003. – (Coleção Questões da Nossa Época, v.26)
- HEILBRON, J. L. História da Ciência. In: Heilbron, J. L. (ed). *The Oxford Companion to the History of Modern Science*, Tradução: Leyla Mariane Joaquim. Revisão: Olival Freire. New York: Oxford University Press, 2003, p. 370-374.
- HERSCHEL, W. Investigation of the Powers of the Prismatic Colours to Heat and Illuminate Objects; With Remarks, That Prove the Different Refrangibility of Radiant Heat. To Which is Added, an Inquiry into the Method of Viewing the Sun Advantageously, with Telescopes of Large Apertures and High Magnifying Powers. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, v. 90, p. 255-283, 1800a.
- HERSCHEL, W. Experiments on the Refrangibility of the Invisible Rays of the Sun. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, v. 90, p. 284-292, 1800b.

HERSCHEL, W. Experiments on the Solar, and on the Terrestrial Rays that Occasion Heat; With a Comparative View of The Laws to Which Light and Heat, or Rather the Rays Which Occasion them, are Subject, in order to Determine Whether They are the Same, or Different. Part I. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, v. 90, p. 293-326, 1800c.

HERSCHEL, W. Experiments on the Solar, and on the Terrestrial Rays that Occasion Heat; With a Comparative View of The Laws to Which Light and Heat, or Rather the Rays Which Occasion them, are Subject, in order to Determine Whether They are the Same, or Different. Part II. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, v. 90, p. 437-538, 1800d.

HILBERT, M. Herschel's Investigation of the Nature of Radiant Heat: The Limitations of Experiment. *Annals of Science*, v. 56, p. 357 – 378, 1999.

HOBBSAWN, E. J. *A Era das Revoluções: 1789-1848*. Tradução de Maria Tereza Teixeira e Marcos Penchel. São Paulo: Paz e Terra. pp. 435-465. 2010.

HOSKIN, M. A. William Herschel. *In: Complete Dictionary of Scientific Biography*. Disponível em: [http://www.encyclopedia.com/topic/William\\_Frederick\\_Herschel.aspx](http://www.encyclopedia.com/topic/William_Frederick_Herschel.aspx). Acessado em: 10/07/2012.

LESLIE, J. *Experimental Inquiry into the Nature and Properties of Heat*, London, 1804.

LOVELL, D. J. Herschel's Dilemma in the Interpretation of Thermal Radiation. *Isis*, v. 59, n. 1, pp. 46-60, 1968.

MARTINS, R. A. Sobre o papel da história da ciência no ensino. *Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, v. 9, p. 3-5, 1990.

\_\_\_\_\_. Como não escrever sobre história da física – um manifesto historiográfico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 23, n.1, p. 113-129, 2001.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MEDEIROS, A.; BEZERRA FILHO, S. A natureza da ciência e a instrumentação para o ensino de física. *Ciência & Educação*, v. 6, n. 2, p. 107-117, 2000.

MOURA, B. A. *Formação crítico-formadora de professores de Física: uma proposta a partir da História da Ciência*. Tese de Doutorado em Ciências. USP, São Paulo, 2012, 310p, p. 22 - 88.

NEWTON, I. *Opticks, or, a treatise of the reflections, refraction, and colour of light*. London, 1704; Reeditado: New York: Dover, 1952.

PEDUZZI, L. Sobre a utilização didática da história da ciência. In: PIETROCOLA, M. (Org.) *Ensino de Física – conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Editora UFSC, 2001.

QUINTAL, J. R.; GUERRA, A. A história da ciência no processo ensino-aprendizagem. *Física na Escola*, v. 10, n. 1, p. 21-25, 2009.

- SEKER, H. Levels of Connecting Pedagogical Content Knowledge with Pedagogical Knowledge of History of Science. Marmara University, Istanbul, TURKEY, 2012.
- SEKER, H. The Instructional Model for Using History of Science. *Educational Sciences: Theory & Practice* – v. 12, n. 2, p. 1152-1158, 2012.
- SEROGLOU, F.; KOUMARAS, P. The contribution of the history of physics in physics education: a review. *Science&Education*, v. 10, p. 153-172, 2001.
- SILVA, A. P. B. Iniciação à pesquisa na formação do professor: subsídios para inserir a História da Ciência no Ensino. IX CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS. p. 398-402, 2013.
- SILVA, A. P. B.; FORATO, T. C. M.; GOMES, J. L. A. M. C. Concepções sobre a natureza do calor em diferentes contextos históricos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 30, n. 3, p. 492-537, dez. 2013.
- SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. “Nova teoria sobre luz e cores” de Isaac Newton: uma tradução comentada. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. v. 18, n. 4, p. 313-327, 1996.
- STINNER, A.; et. al. The renewal of case studies in Science education. *Science&Education*, v. 12, p. 617-643, 2003.
- TORRES, A. P. G.; BADILLO, R. G. Historia, Epistemología y Didáctica de las Ciencias: unas relaciones necesarias. *Ciência & Educação*, v. 13, n. 1, p. 85-98, 2007.
- WATANABE, M. The development of the dynamic theory of heat in early nineteenth century England. *Annals of the Japan Association for Philosophy of Science*. Tóquio, v. 2, n. 2, p. 70-89, 1962.

## A Descoberta dos Raios Invisíveis e sua aplicação em tecnologias atuais



Você já deve ter percebido que a maioria dos estabelecimentos comerciais atuais (hipermercados, lojas de eletrodomésticos, etc.) utiliza leitor de código de barras nos caixas, facilitando o processo de pagamento. Entretanto, você já se questionou qual o princípio de funcionamento de tal aparelho?

Neste material abordaremos os primórdios do desenvolvimento desse conhecimento que nos proporciona a utilização dessa e de muitas outras tecnologias que facilitam nosso dia a dia.



**Autora: Rilavia Almeida de Oliveira**  
**Orientação: Ana Paula Bispo da Silva**

## **A Descoberta dos Raios Invisíveis e sua aplicação em tecnologias atuais**

- 1. Raios Invisíveis? Radiação!**
  - **O Calor que sentimos!**
- 2. A descoberta da Radiação Invisível: histórias e problemáticas!**
  - **Contexto Científico...**
  - **William Herschel e a “descoberta” dos Raios Invisíveis**
    - I. Mas, quem era William Herschel?**
    - II. O poder de aquecimento e iluminação dos raios coloridos!**
    - III. Confirmando a existência dos Raios Invisíveis!**
    - IV. Os Trabalhos de Herschel sobre a Relação Luz x Calor**
- 3. Reprodução Didática: Detectando o “Poder de Aquecimento” das diferentes Cores!**
- 4. Conceitos Físicos e Aplicações**
  - **O Espectro Eletromagnético**
  - **Um pouco mais sobre a Radiação Infravermelha...**
  - **Aplicações do Infravermelho**

# 1. Raios Invisíveis? Radiação!

## O Calor que Sentimos!

Você já imaginou por que ao chegarmos próximo a uma fogueira sentimos nosso corpo ficar quente mesmo sem tocá-la?



Você já chegou próximo uma lâmpada incandescente acesa? O que você sentiu?

Nos exemplos anteriores, devemos ter respondido que sentimos nosso corpo aquecer. Isto ocorre devido ao calor proveniente das diferentes fontes. Nestes exemplos, as chamas emitem juntamente com a luz visível, uma radiação invisível que aquece nosso corpo.

Entretanto, o conceito de radiação invisível nem sempre foi entendido ao longo da História da Ciência. No decorrer deste material, procuraremos entender como um corpo quente pode nos afetar mesmo que estejamos distante dele, bem

como estudar a constituição do espectro de luz. Contextualizamos as atividades de William Herschel, pesquisador que detectou radiação além do visível em 1800, apresentamos alguns de seus experimentos e uma possibilidade de reprodução didática e destacamos as consequências de seus resultados em tecnologias atuais que envolvem radiação infravermelha.



## 2. A descoberta da Radiação Invisível: histórias e problemáticas!

### Contexto Científico...

Em fins do século XVIII, estamos em um período de transição para a ciência moderna. O período anterior, chamado de Revolução Científica, foi marcado pela rejeição e criação de sistemas elaborados de filosofia natural, com o início da exploração instrumental da natureza, e surgimento de instituições que encorajavam a busca do conhecimento da natureza.

O período de transição é marcado pelo espírito quantitativo. Durante o século XVIII, temos o desenvolvimento da mecânica: estudo do achatamento da Terra, análise do movimento dos planetas, descoberta de **Urano**, novo formalismo matemático parecido com o atual, estudo de corpos rígidos e sistemas de partículas e também muitas pesquisas em eletricidade.



No que concerne ao Calor, temos o desenvolvimento da termometria, calorimetria, desenvolvimento de termômetros, calorímetros, desenvolvimento do conceito de calor específico e calor latente. O calor era geralmente pensado como um fluido que passava de um objeto para outro, a chamada teoria do calórico. Entretanto, também tínhamos estudiosos defendendo a teoria dinâmica do calor, que pressupunha o calor como vibração de partículas dos corpos e alguns estudiosos

estudando a natureza radiante do calor, ou seja, a propagação do calor através de raios, como a luz. Alguns desses últimos, concentraram-se na relação calor  $\times$  luz, como é o caso de **William Herschel (1738-1822)**.



Em fins do século XVIII e início do século XIX, apesar de quase todos os filósofos naturais continuarem acreditando que o calor era uma substância (o calórico), Conde Rumford (1753 - 1814), Humphry Davy (1778 - 1829) e Thomas Young (1773-1829) defenderam a teoria dinâmica do calor, segundo a qual, calor é um tipo de vibração interna de um corpo.

A teoria do fluido ou calórico manteve sua supremacia durante o século XVIII, em grande parte devido à teoria de emissão de **Newton (1643 - 1727)**



que adotava características corpusculares para a luz. Por outro lado, a teoria ondulatória da luz de Huyghens (1626-1695) também possuía seus adeptos, mas não se encaixava muito bem ao tentar explicar como a luz poderia aquecer, ou “fornecer calor”. Outro ponto para aceitação da teoria do calórico era que esta oferecia uma explicação facilmente compreensível do fenômeno do calor e a teoria dinâmica do calor não era tão facilmente compreensível nem aplicável,

pois fazia uso de uma matemática mais avançada.

**Teoria da Emissão de Newton x Teoria ondulatória de Huyghens**

No final do século XVII, Newton analisou a luz sob o ponto de vista corpuscular. Ele defende que os raios de luz são pequeníssimos corpos emitidos de substâncias brilhantes. Huyghens nesta mesma época propôs uma teoria ondulatória da luz. Porém, no início do século XVIII, a teoria de Newton era considerada a melhor.

Entre os pesquisadores que defenderam o calor como uma forma de radiação, ou seja, algo que se propaga através de raios (retas que se propagam a partir de um determinado ponto), temos Marc Auguste Pictet (1752-1825), que em 1790, notou que o termômetro colocado no foco de um espelho côncavo registrou imediatamente um aumento na temperatura quando um corpo quente era colocado no foco de um segundo espelho, coaxial com o primeiro, mas a uma longa distância deste. Desse modo, ele defendia que calor radiante deve se propagar em linhas retas em uma velocidade muito grande, talvez igual à velocidade da luz.

James Hutton (1726 - 1797), em 1794, também identifica luz com calor radiante. Segundo Hutton, o corpo quente converte calor em luz que na absorção torna-se calor novamente.

Ao desenvolver trabalhos no intuito de aperfeiçoar **seus telescópios**, durante o ano de 1800, Herschel testou diferentes combinações de lentes coloridas para verificar quais delas permitiam observar o Sol sem expor o olho a uma



elevada sensação de calor. Ele pressupunha que o poder de aquecer e iluminar eram diferentes para os vários raios coloridos e percebeu, através de seus testes, que algumas dessas combinações de lentes davam a sensação de calor, embora passasse pouca luz; enquanto outras davam muita luz com pouca sensação de calor. Herschel também realizou experimentos no intuito de verificar se as mesmas propriedades dos raios de luz são observadas nos raios de calor.

Em meio a esses experimentos, Herschel foi o primeiro a noticiar ter detectado e isolado radiação além do visível, em 1800, seguindo sua descoberta com uma série de investigações buscando verificar se luz é essencialmente diferente de calor radiante.

No início do século XIX, supunha-se que calor e luz eram substâncias fluidas. No período entre 1800 e 1830, experimentos com calor radiante realizados por William Herschel, John Leslie, **Macedonio Melloni** e outros, apresentaram que calor radiante tinha a maioria das propriedades da luz, entre elas, reflexão e refração.



## William Herschel e a “descoberta” dos Raios Invisíveis

No decorrer, vamos discutir as pesquisas de William Herschel sobre calor radiante, mais especificamente seus experimentos nos quais investigou o poder de aquecer e iluminar das diferentes cores e verificou a existência de radiação além do espectro visível e sua construção dos espectros de luz e de calor.

### Mas, quem foi William Herschel?

William Herschel (1738–1822) era um astrônomo alemão naturalizado inglês que se interessou inicialmente pela música, assim como seu pai – Isaac Herschel. Posteriormente, ele se dedicou a construção de telescópios com o intuito de observar os céus e a natureza e distribuição das estrelas distantes e nebulosas. Ele alugava telescópios e polia seus próprios espelhos.

Herschel descobriu o planeta Urano, fato que o tornou mundialmente famoso como descobridor de um planeta. Como resultado desta descoberta ele foi eleito membro da **Royal Society**, premiado com o Copley Prize, e nomeado astrônomo do Rei George III.

O porão de sua casa funcionava como uma fábrica, onde ele fez muitos experimentos com metais de diferentes composições, com o intuito de polir seus próprios espelhos. Herschel

também identificou o sexto satélite de Saturno.



Envolvido com suas observações astronômicas e com o aprimoramento dos instrumentos, aos 61 anos, Herschel também desenvolveu estudos sobre o calor. No contexto da discussão sobre luz e os fenômenos de interferência, diretamente relacionados com as observações das estrelas, Herschel se concentrou no estudo principalmente dos raios solares.

Uma busca por trabalhos de Herschel mostra uma grande quantidade de relatos de observações e quatro artigos, todos lidos perante a Royal Society, e publicados na *Philosophical Transactions* no ano de 1800, que tratam de algumas experiências relacionadas com o aquecimento de diferentes materiais quando expostos à radiação solar e terrestre.

### Mas, o que significava Radiação para Herschel...

O termo radiação utilizado por Herschel denotava simplesmente a luz obtida, sem implicar em qualquer interpretação eletromagnética. Radiação, para Herschel, é um feixe de raios, ou seja, luz se propagando em linha reta.

Herschel procurava entender a relação entre a radiação solar e o aquecimento das lentes que eram utilizadas nos telescópios. Assim, *no primeiro* dos trabalhos Herschel apresenta alguns experimentos em que discute o poder de aquecer e iluminar das diferentes cores do espectro prismático, bem como a diferente refrangibilidade dos raios de calor. Ao fazer experiências testando o melhor método de ver o Sol, através de grandes telescópios, Herschel utilizou várias combinações de vidros diferentemente escurecidos. Ao usar alguns deles, Herschel sentiu uma **sensação de calor**, embora tivesse pouca luz, enquanto outros iluminavam melhor



(forneciam mais luz), com pouca sensação de calor. Ele então conjecturou que os raios prismáticos poderiam ter o poder de aquecer e iluminar distribuídos desigualmente entre eles. Algumas cores são mais aptas a ocasionar calor; outras, ao contrário, são mais aptas para a visão, por possuir um poder iluminador superior. Para verificar esta conjectura, ele realiza experimentos que são descritos no primeiro trabalho.

Neste primeiro trabalho, Herschel observa que na decomposição do espectro da luz solar, a região após o vermelho é a que parece provocar maiores alterações de temperatura. Isso o leva a concluir que poderia haver raios luminosos que não eram perceptíveis à visão (raios invisíveis), mas que produziam calor.

Para verificar esta suposição, ele realiza experimentos que são descritos no segundo trabalho, nos quais detecta que o máximo de calor ocorre além do vermelho visível. Restava verificar se tais raios invisíveis (de calor) possuíam as mesmas propriedades da luz. Nos artigos seguintes (3 e 4), ele constrói vários aparatos e experimentos em que tenta responder a esta questão.

[ 408 ]

XV. *Experiments on the solar, and on the terrestrial Rays that occasion Heat; with a comparative View of the Lenses in which Light and Heat, or rather the Rays which occasion them, are subject, in order to determine whether they are the same, or different.* By William Herschel, LL. D. F. R. S.

PART I.

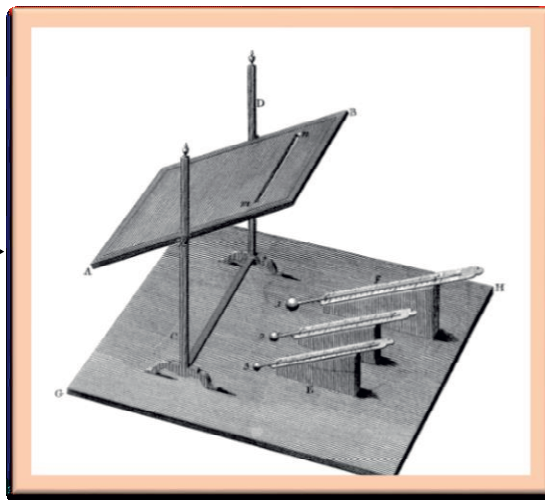
Read May 14, 1800.

THE word heat, in its most common acceptation, denotes a certain sensation, which is well known to every person. The cause of this sensation, to avoid ambiguity, ought to have been distinguished by a name different from that which is used to point out its effect. Various authors indeed, who have treated on the subject of heat, have occasionally added certain terms to distinguish their conceptions, such as, latent, absolute, specific, sensible heat; while others have adopted the new expressions of caloric, and the matter of heat. None of these descriptive appellations however would have completely answered my purpose. I might, as in the preceding papers, have used the name radiant heat, which has been introduced by a celebrated author, and which certainly is not very different from the expressions I have now adopted; but, by calling the subject of my researches, the rays that occasion heat, I cannot be misunderstood as meaning that these rays themselves are heat; nor do I in any respect engage myself to show in what manner they produce heat.

From what has been said it follows, that any objections that may be alleged, from the supposed agency of heat in other

## O poder de aquecimento e iluminação dos raios coloridos!

Nos experimentos sobre o poder de aquecimento dos raios coloridos, Herschel construiu um **aparato**, no qual os termômetros pudessem mostrar o aumento de temperatura ocasionado por cada cor do espectro prismático.



Fonte: HERSCHEL, 1800a.

À média da variação de temperatura dos termômetros, Herschel atribui o “poder de aquecimento” da cor, e relaciona os poderes das diferentes cores. A partir dessas experiências, Herschel encontra que os raios vermelhos tem maior poder de aquecimento que os raios verdes e os raios violeta, em uma proporção de 55 para 26 e 55 para 16, respectivamente.

Herschel afirma ainda que mais precisão seria obtida, ao escurecer os bulbos dos termômetros, e ao expô-lo a uma luz mais estável e poderosa do Sol, em altitudes maiores do que as que ele utilizou no presente. Entretanto, ele julga que as experiências relatadas, são suficientes para o seu propósito: que era provar que o poder de aquecimento das cores prismáticas, não é igualmente dividido e que a máxima emissão, e portanto maior poder de aquecimento, estaria nos raios vermelhos.

Na continuidade do trabalho, Herschel busca investigar se os diferentes raios prismáticos possuem diferentes poderes de iluminação e assim, relacionar poder de aquecimento com poder de iluminação. Com este propósito, Herschel utiliza um microscópio que recebe diretamente os raios prismáticos.

Ele providenciou diferentes materiais para serem observados e um microscópio que ampliava 42 vezes. Herschel apresenta em detalhes a presença ou não de pontos luminosos nas observações para cada uma das **cores do espectro**, bem como um certo “grau” de iluminação que ele considera sem, aparentemente, um instrumento comparativo.

Para compreensão da teoria das cores de Newton, sugerimos Silva e Martins (1996).

### Compreendendo Melhor...

Herschel adota que o espectro solar é constituído de sete cores. Como sabemos, há infinitas cores no espectro e, além disso, ele é contínuo e não pode ser adotado como Herschel faz, como se houvesse uma largura definida para cada uma das cores. No entanto, é importante lembrar que no final do século XVIII as concepções newtonianas eram muito fortes e Herschel em vários momentos se mostra adepto delas. Portanto, é compreensível que adote o espectro de sete cores primárias como fazia Newton.

Primeiramente, ele explica que um objeto é dividido em pequenos pontos diferentemente arrançados, nos quais a atenção pode ser fixada, para determinar se eles são igualmente distintos em todas as cores, e se seus números seriam aumentados ou diminuídos por diferentes graus de iluminação. Era exatamente isso que Herschel queria saber.

Após uma série de observações (9 experimentos com 7 observações em cada um deles), ele conclui que os raios vermelhos possuem um pequeno poder de iluminação. O laranja possui mais do que o vermelho e os raios amarelos iluminam objetos ainda mais perfeitamente. O máximo de iluminação ocorre entre o verde claro e o amarelo brilhoso. Porém, a partir do verde escuro, o poder de iluminação diminui muito sensivelmente, sendo o poder do azul aproximadamente igual ao do vermelho e o do índigo ainda menor que o do azul. Por fim, o violeta é o mais deficiente. Porém, Herschel reconhece a imprecisão existente nos experimentos, bem como a necessidade de tentar separar melhor as cores para poder definir suas propriedades quanto ao poder de iluminação.

Entretanto, Herschel defende que se não tivesse havido uma pequena mistura dos raios vermelhos nas outras cores, o resultado teria sido ainda mais decisivo, no que diz respeito ao poder de aquecimento investido nos raios vermelhos. Os raios vermelhos também iluminam objetos, mas de forma imperfeita.

Os experimentos levam Herschel a conjecturar que o calor radiante possui diferente refrangibilidade, ressaltando que, assim como a luz, ele não é apenas refratável, mas também está sujeito às leis da dispersão decorrente da sua diferente refrangibilidade. Isto é, devido a sua diferente refrangibilidade, ao ser dispersado pelo prisma, os raios de calor são refratados em diferentes direções.

Recorrendo aos conceitos newtonianos, Herschel faz uma analogia entre calor radiante e luz, supondo o primeiro também como partículas com momentum, supondo que pode haver partículas que não são detectáveis como luz. Ele esclarece que através de uma exposição gradual do termômetro para os raios do espectro prismático, começando a partir do violeta, chega-se ao máximo da luz muito antes de chegar ao máximo de calor, que se encontra no outro extremo. Segundo Herschel, o total dos raios vermelhos está no máximo do calor, o qual talvez esteja um pouco além da refração visível.

Segundo as conclusões de Herschel, o calor radiante consistiria, ao menos em parte, se não principalmente, de luz invisível. Ou seja, calor radiante consistiria dos raios que vêm do Sol, que possuem momentum inadequado para a visão. Assim, se fosse admitido, como era na época, que os órgãos da visão são apenas adaptados para receber impressões de partículas de certo momentum, o máximo de iluminação seria no meio dos raios refrangíveis; e aqueles que saíssem deste intervalo seriam inadequados para a visão, como no caso do calor radiante. Isto gera certo “desconforto”, pois como seria luz, se seria invisível? Este “desconforto” foi motivo de controvérsia quando o trabalho foi publicado<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> Para aprofundamento sobre as críticas ao trabalho de Herschel, sugerimos (LOVELL, 1968; HILBERT, 1999).

## Confirmando a existência dos Raios Invisíveis!

Talvez o experimento mais conhecido de Herschel seja o apresentado no 2º artigo de 1800, no qual ele procura provar a hipótese que fez anteriormente, de que a extensão da refrangibilidade dos raios de calor é provavelmente mais ampla que as das cores prismáticas. Experimento no qual, Herschel confirmou a presença de radiação invisível. Herschel providenciou um suporte com quatro pequenas pernas, e o cobriu com papel branco. Neste, ele desenhou cinco linhas paralelas à extremidade do suporte e separadas por uma distância de meia polegada uma da outra, mas de modo que a primeira das

linhas pudesse estar a apenas  $\frac{1}{4}$  de uma polegada da borda.

O termômetro N°1 estava a  $1\frac{1}{4}$  polegada, em direção ao segundo, que juntamente com o 3º termômetro, foram mantidos como padrão. Durante o experimento, Herschel (1800b) manteve a última terminação do vermelho visível na primeira linha. Vagarosamente, movendo o N°1 quando necessário, Herschel variou a posição dos termômetros e verificou o aumento da temperatura nas posições em relação à primeira linha (onde estava o vermelho), ou seja, Herschel investigou o aumento além do visível.

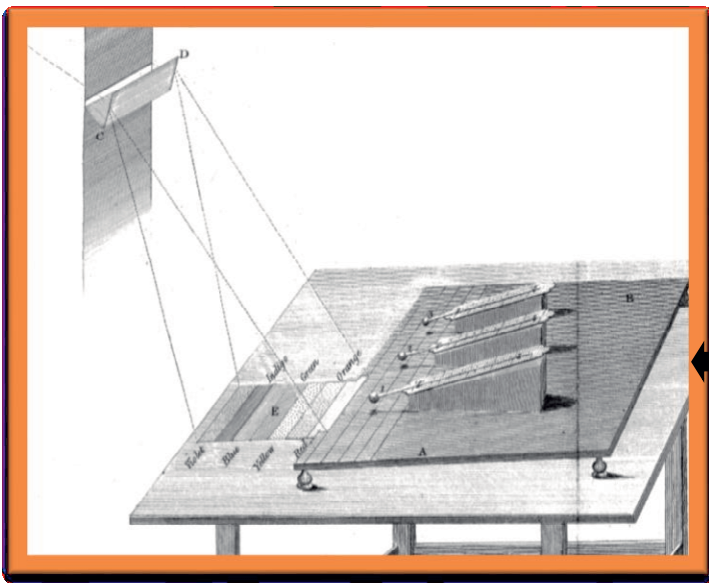


Figura 2: A,B o pequeno suporte. 1, 2, 3 os termômetros sobre ele; CD o prisma na janela. E, o espectro lançado na mesa de modo a trazer o último quarto de uma polegada da cor de leitura sobre o suporte. Fonte: HESCHEL, 1800b.

Ele realizou medidas do aumento de temperatura para as quatro linhas além do vermelho e também da região em que estava o violeta. Para este último caso não houve aumento considerável de temperatura, e Herschel conclui que não há raios “invisíveis” que aqueçam além do violeta. (HERSCHEL, 1800b).

Considerando que raios próximos ao violeta não possuíam poder de aquecimento, Herschel partiu diretamente para medir a variação da temperatura da

região que estava além do vermelho total. Após várias medidas, Herschel conclui que: (i) há raios vindo do Sol que são menos refrangíveis do que aqueles que afetam a visão e que possuem alto poder de aquecimento e nenhum de iluminar; (ii) o máximo poder de aquecimento está entre os raios invisíveis e a não menos de meio polegada além do vermelho visível.

## Os Trabalhos de Herschel sobre a Relação Luz x Calor

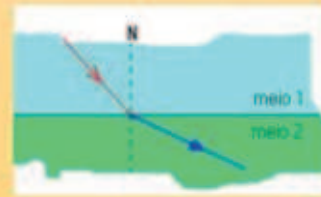
Nos dois últimos trabalhos (3º e 4º), Herschel busca responder a seguinte pergunta: “*se nós chamamos luz, esses raios que iluminam objetos, e calor radiante, esses que aquecem corpos, nós podemos investigar, se luz é essencialmente diferente de calor radiante?*” Para responder, comparou as propriedades dos raios de calor radiante com as propriedades dos raios de luz, como **reflexão, refração, sua diferente refrangibilidade**, transmissão através de corpos translúcidos e espalhamento através de superfícies ásperas.

### REFRANGIBILIDADE...

O termo **Refrangibilidade** nas pesquisas de Herschel, refere-se aos diferentes graus de refração dos raios de calor e de luz por um prisma. Para o caso da luz, a diferença na refração é demonstrada pela variedade de cores; para o caso do calor, a diferença na refração dos raios é representada pelos diferentes graus de aquecimento ao longo do espectro de cores. A refração da luz era um fenômeno em estudo neste período e havia várias suposições quanto à causa do fenômeno e à natureza da luz. Atualmente entendemos que o fenômeno da refração ocorre pela mudança da velocidade da luz no meio, o que determina o índice de refração de um material. Para entender melhor, sugerimos (DARRIGOL, 2012, p. 132).

### Refração!

Refração do raio de luz/calor é o fenômeno em que ele é transmitido de um meio para outro diferente.



### Reflexão!

Reflexão é o fenômeno que consiste no fato do raio de calor/luz voltar a se propagar no meio de origem, após incidir sobre um objeto ou superfície.



Em meio a seus experimentos, Herschel analisa a **Diferente Refrangibilidade dos Raios de Calor**. Em seus experimentos, Herschel encontra que dois graus de calor foram obtidos da parte do espectro que contém os raios violeta, enquanto o vermelho escuro, no lado oposto, dava não menos que sete graus. Segundo ele, esses fatos confirmam a diferente refrangibilidade dos raios que ocasionam calor tão claramente quanto a da luz é confirmada pela dispersão e variedade de cores.

Entretanto, Herschel chama a atenção para uma importante diferença: os raios de calor possuem uma refrangibilidade mais extensiva que esses



de luz. Para ilustrar isto, Herschel delinea o espectro de luz e posteriormente delinea o espectro de calor, tomando como base os resultados dos experimentos obtidos em seus 1º e 2º trabalhos (ver figura 3).

Herschel (1800d) esboça o espectro de luz, assumindo uma linha de certo comprimento, e dividindo esta linha em sete partes, de acordo com as sete cores designadas por Isaac Newton, no seu *Optics*. Assim, ele representa o poder de iluminação de cada cor, por uma ordenada para essa linha. A escolha de Herschel pelas sete cores de Newton foi alvo de críticas, posteriormente, por John Leslie, que afirmava que as sete cores distintas adotadas por Newton não foram derivadas cientificamente, mas produtos do **misticismo** da época.

### Misticismo???

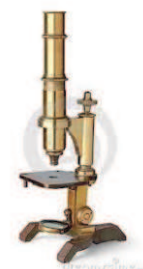
Crença religiosa ou filosófica dos místicos, que admitem comunicações ocultas entre os homens e a divindade. **2.** Aptidão ou tendência para crer no sobrenatural. **3.** Devoção religiosa; vida contemplativa.

Leslie considerava que o espectro era composto por apenas quatro cores: azul, verde, amarelo e vermelho.

O comprimento do espectro colorido de Herschel, ou a linha que corresponde a GQ na sua figura, media 2,997 polegadas. Ao apresentar a medida da base do espectro colorido com uma precisão de milésimos de polegada (2,997 polegadas), Herschel comete um erro gravíssimo, uma vez que é impossível

determinar o comprimento do espectro com essa precisão. O fim do espectro é impreciso, e isso já era conhecido na época de Herschel. Newton já afirmava que ninguém conseguia determinar qual era a forma do fim do espectro.

GQ representa a linha que contém o arranjo de cores, do vermelho ao violeta. Entre o amarelo e o verde, a linha LR = 27/33 de GQ, representaria o poder de iluminação dos raios neste lugar. Para justificar sua escolha, ele relembra os resultados obtidos no experimento utilizando o **microscópio**, sendo que o laranja ilumina mais que o vermelho e que os raios amarelos iluminam os objetos ainda mais perfeitamente. O máximo de iluminação ocorre no amarelo brilhoso ou no verde claro. Porém, a partir do verde escuro o poder de iluminação decresce. O poder do azul assemelha-se ao vermelho, o poder do anil é ainda menor que o do azul e o violeta o mais deficiente. A figura GRQG, representa o que poderia ser chamado de espectro de iluminação.



Posteriormente, Herschel procura encontrar o espectro de calor. Ele assume o máximo de calor, uma ordenada de comprimento igual ao que foi fixado para o máximo de luz, o que permitiria comparar os dois espectros juntos. Entretanto, ele não tinha uma base sobre a qual a justificar a suposição de que a distância SF é igual a RL. Ele não tinha unidades comuns para os dois gráficos, mas incluiu números no gráfico para dar mais autoridade, num misto de engenhosidade e imaginação científica (HILBERT, 1999).

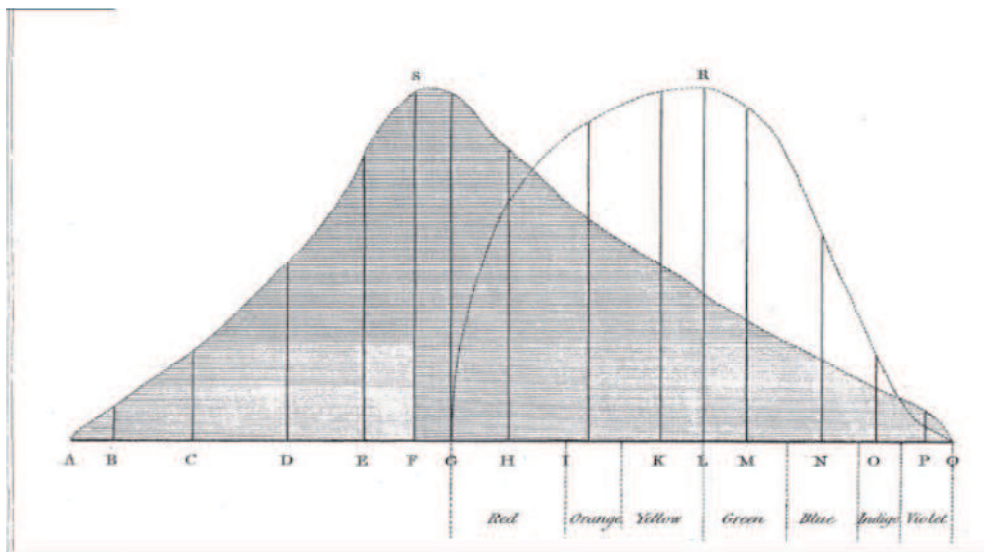


Figura 3: Representa o espectro de calor A,S,Q,A e de luz G,R,Q,G. Fonte: HERSCHEL, 1800d.

Verificando os dois espectros, é possível ver a diferença na dispersão, pelo prisma, dos raios que produzem calor e os que ocasionam luz. Esses raios não concordam em sua refrangibilidade média, nem na situação de seu máximo: onde temos mais luz, temos pouco calor, e onde temos mais calor, não encontramos nenhuma luz. Então, Herschel questiona: *Como pode efeitos que são tão opostos, serem atribuídos para a mesma causa? Que modificação podemos supor ser acrescentada ao poder de produzir calor que produzem tais resultados inconsistentes?*

Herschel acima questiona como pode efeitos tão opostos serem atribuídos à mesma causa, para argumentar acerca da diferença entre luz e calor radiante.

O final do espectro de calor acima pode indicar que essa radiação está diminuindo ou que o instrumento de detecção de Herschel não está mais absorvendo calor. Entretanto, Herschel não menciona esse fato.

Outro problema, encontra-se no fato de Herschel ter dividido seu espectro de iluminação em sete cores, de acordo com a divisão de Newton. Na realidade no espectro não temos sete cores divididas, temos um contínuo de infinitas

cores. Newton também viu uma faixa contínua de cores. Entretanto, decidiu dividir em sete cores para associar com as sete notas musicais. Os pontos de separação entre as cores estão associados com os sons musicais. E como as diferenças entre as notas musicais não são homogêneas, a separação entre as sete cores de Newton também não é igual para todas as faixas.

Posteriormente, ao analisar a *Transmissão dos raios que produzem calor*, Herschel procura discutir a transmissão de calor através de corpos translúcidos. Entretanto, seus experimentos apresentam várias complicações, pois, Herschel não levou em consideração vários aspectos que poderiam interferir nos resultados de seus experimentos. Por exemplo, para comparar a transmissão dos raios de calor solar com a transmissão dos raios de luz através de diferentes substâncias, Herschel fez seus experimentos utilizando a luz de uma vela, pois argumenta que não teve a oportunidade de providenciar experimento similar para a luz solar. Deste modo, Herschel erroneamente compara a transmissão do calor solar com a transmissão da luz de uma vela.

Além disso, para analisar a iluminação da vela, Herschel utilizou o medidor de luz criado por **Pierre Bouguer** (1698 – 1758) em 1720, que era baseado na capacidade do olho em detectar diferenças na intensidade de luz.



Entretanto, pesquisadores da época já apontavam que tentar medir cor

pelo olho com precisão, parece completamente impraticável, se não uma tentativa absurda. E ao utilizar para comparar a intensidade de diferentes cores, Herschel adiciona mais erros ainda.



### Medida de Intensidade Luminosa...

Na época de Herschel, o método de comparação de intensidade luminosa era baseado na percepção visual. Para comparar a intensidade luminosa de duas velas diferentes, por exemplo, as velas seriam separadas por um anteparo opaco e duas folhas de papel seriam colocadas entre elas. Desse modo, o observador iria aproximando e afastando as folhas da vela até que visualmente o brilho das duas fosse igual. Então, usando a lei do inverso do quadrado da distância, que baseia-se no fato de que a luz é constituída por raios, comparava-se a intensidade luminosa das duas velas. Essas medidas tem como pressuposto teórico a lei do inverso do quadrado da distância e a percepção visual do brilho das duas superfícies de papel que eram aproximadas e afastadas das velas. Isto não permitia comparar o brilho de cores de diferentes, como Herschel fez. Dessa maneira, o uso de Herschel dessa metodologia para comparar o brilho das diferentes cores, não faz sentido.

## O Trabalho de Herschel: Dilemas e Conflitos...

A descoberta dos raios invisíveis, por Herschel, foi recebida com diferentes reações. A hipótese de que algumas emissões radiantes do Sol são invisíveis parecia inacreditável para muitos.

Herschel recebeu muitos elogios do presidente da Royal Society, Joseph Banks (1743-1820), que comparou sua “descoberta como a mais importantes desde a morte de Sir Isaac Newton” e apresentou seu trabalho a Cavendish e a outros pesquisadores da época.

As críticas negativas, e incisivas, vieram de John Leslie (1766-1832), que ao tomar conhecimento dos dois primeiros artigos de Herschel, enviou um

comunicado ao editor do *Nicholson's Journal* para que emitisse um alerta contra a autoridade de um astrônomo cuja “autoridade na presente situação retardaria o progresso da ciência por fornecer opiniões que, estou totalmente convencido, são inaccuradas e infundadas” (HILBERT, 1999).

Entretanto, apesar das limitações do trabalho de Herschel, ele contribuiu para o desenvolvimento do espectro ao levantar questões cujas respostas levaram a outras investigações.

### 3. Reprodução Didática: Detectando o “Poder de Aquecimento” das diferentes Cores!

#### OBJETIVO:

Realizar uma versão do experimento de 1800, em que William Herschel investiga o poder de aquecimento das diferentes cores<sup>19</sup>. Neste, Herschel atribui o poder de aquecimento ao aumento da temperatura dos termômetros nas diferentes cores. Assim, objetivamos mostrar aos alunos que o “poder de aquecimento” não é igualmente distribuído ao longo do espectro prismático.

#### TEMA:

Herschel notou que as diferentes cores (violeta, amarelo, vermelho,...) do espectro aquecem de maneira diferente os termômetros expostos a ela, em um experimento no qual passava a luz solar através de um prisma de vidro. A luz solar transmitida através do prisma é dispersa num arco-íris de cores chamado um espectro. O espectro contém todas as cores visíveis que compõem a luz solar. Herschel estava interessado em medir a quantidade de calor em cada cor e usou termômetros com bulbos pretos para medir as diferentes temperaturas de cada cor. Ele notou que o aumento da temperatura ocorre em direção a parte vermelha do espectro visível. Embora o procedimento para esta atividade seja um pouco diferente da experiência original de Herschel, obteremos resultados semelhantes.

<sup>19</sup> Adaptação do experimento proposto no Cool Cosmos. Por falta de prisma que não absorvesse o infravermelho, adaptamos o experimento para medir o “poder de aquecimento” das diferentes cores do espectro. Disponível em: [http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic\\_classroom/classroom\\_activities/herschel\\_experiment2.html](http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/classroom_activities/herschel_experiment2.html).

#### MATERIAIS:

- Um prisma de vidro em seu suporte;
- Três termômetros de álcool;
- Marcador preto permanente;
- Tábua branca de madeira que sirva de suporte para os termômetros.

#### PROCEDIMENTO:

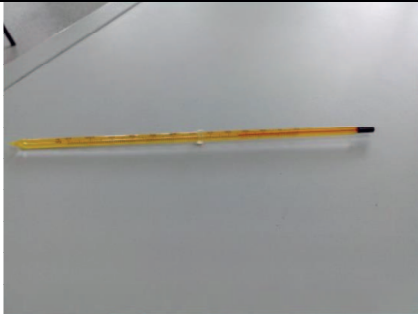

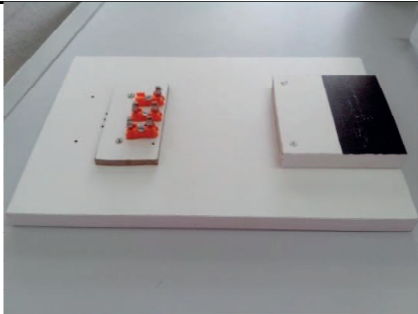
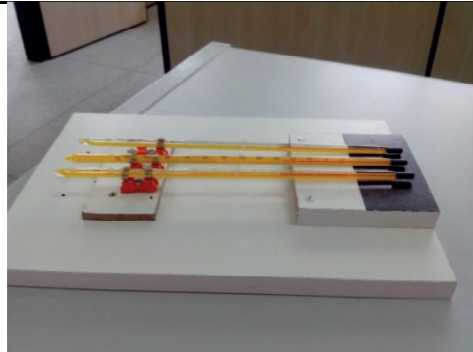


Os bulbos do termômetro devem ser escurecidos (os bulbos pintados tendem a produzir melhores resultados, pois absorvem melhor o calor). Uma maneira de fazer isso é pintar os bulbos com marcador permanente, cobrindo cada bulbo com aproximadamente a mesma quantidade de tinta. Depois que a tinta do marcador esteja completamente seca nos bulbos do termômetro, disponha os termômetros juntos na tábua branca de madeira de tal forma que as escalas de temperatura estejam alinhadas. A região abaixo dos bulbos dos termômetros também deve ser escurecida com marcador permanente.

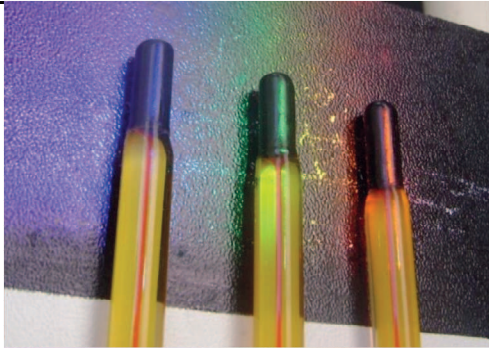
O experimento deve ser realizado ao ar livre em um dia ensolarado. Coloque a face do prisma em direção ao Sol, e gire o prisma até o mais vasto possível espectro apareça em uma parte sombreada de uma superfície horizontal. Registre a temperatura ambiente com os três termômetros e coloque então, o suporte de madeira com os três termômetros dispostos em uma linha, no espectro prismático formado pelo prisma, de modo que um dos bulbos fique na região do azul, outro na região do verde e o terceiro na região vermelha.

Levará cerca de cinco minutos para as temperaturas a atingirem seus valores finais. Anote as temperaturas em cada uma das três regiões do espectro: azul, verde e vermelho.

Não retire os termômetros do espectro ou bloqueie o espectro durante a leitura das temperaturas.

FOTOS DA CONSTRUÇÃO DO EXPERIMENTO:

	
FOTO 1: Termômetro de álcool (bulbo escurecido);	FOTO 2: Prisma em seu suporte;
	
FOTO 3: Tábua branca de madeira que serve de suporte para os termômetros com a região abaixo dos bulbos pintada de preto;	FOTO 4: Termômetros de álcool no suporte de madeira;
	
FOTO 5: Espectro Solar dispersado pelo prisma;	FOTO 6: Demonstração de como o suporte será colocado no espectro de cores;



Fonte: Todas as fotos são de autoria própria.

FOTO 7: Bulbos dos termômetros nas cores.

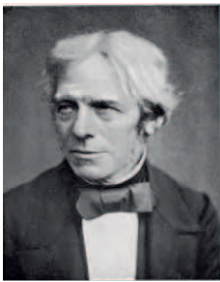
#### SUGESTÕES:

De acordo com as medidas feitas por Herschel, as temperaturas das cores devem aumentar a partir do azul em direção a parte vermelha do espectro. Entretanto, os alunos podem medir a temperatura de outras áreas do espectro. Além disso, tentar o experimento durante diferentes momentos do dia.

Por fim, salientamos que este experimento se mostra válido, na medida em que mostra o aumento de temperatura ao longo das diferentes cores do espectro, permitindo que os alunos compreendam melhor a constituição do espectro prismático.

## 4. Conceitos Físicos e Aplicações

No século XIX tivemos novas descobertas no campo da óptica, mais precisamente sobre a natureza da luz. Estas descobertas vieram de um campo independente e, até então, sem nenhuma conexão com a luz. Desenvolvendo estudos sobre eletricidade e magnetismo, **Michael Faraday** (1791-1867), em 1845,



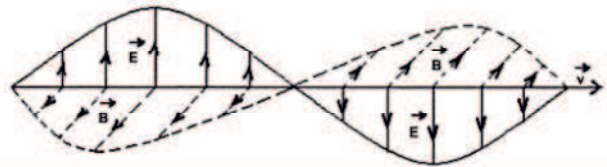
observou que o campo magnético podia rodar a polarização de ondas luminosas ao passarem por uma região magnetizada.

Esse fato levou Faraday a associar a luz com a radiação eletromagnética. Posteriormente, **James Clerk Maxwell** (1831-1879) percebeu que a velocidade da propagação das ondas eletromagnéticas era exatamente igual à velocidade da luz, o que o levou à conclusão de que a luz nada mais é que um exemplo de radiação eletromagnética. Como a equação da velocidade da radiação eletromagnética combinava com a equação da velocidade da luz, Maxwell concluiu que a luz em si é uma onda eletromagnética. Há mais detalhes históricos neste episódio histórico, mas não é nosso objetivo aqui. Assim, partiremos da compreensão final sobre



ondas eletromagnéticas, formada por campos elétrico e magnético<sup>20</sup>.

Deste modo, surgiu o entendimento da luz como onda transversal capaz de se propagar no espaço vazio, com campos elétricos e magnéticos perpendiculares entre si e à direção de propagação: **a luz seria uma onda eletromagnética.**



Os fenômenos da óptica podem ser compreendidos pelo estudo dos campos eletromagnéticos. A luz, onda transversal que se propagava no éter, passa a ser interpretada como onda eletromagnética transversal que se propaga na ausência de cargas elétricas e ímãs. Os fenômenos de reflexão, refração, interferência e polarização puderam ser compreendidos pelo uso dos campos elétricos e magnéticos que surgiram do estudo da interação entre cargas e ímãs.

<sup>20</sup> Para aprofundamento, sugerimos SILVA, C. C. Da força ao tensor: evolução do conceito físico e da representação do campo magnético. Tese de doutorado, Unicamp. 2002

## O Espectro Eletromagnético!

As ondas eletromagnéticas diferem quanto ao seu **comprimento de onda e sua frequência**. Essa diferença entre os comprimentos de ondas e a frequência dessa radiação, leva a formação do espectro

eletromagnético, que inclui raios gama, **raios-X**, ultravioleta, visível, infravermelho, micro-ondas, e ondas de rádio. O comprimento de onda aumenta e frequência (bem como energia) diminui dos raios gama em direção às ondas de radio. Todos esses tipos de radiação viajam à velocidade da luz (300,000,000 metros por segundo no vácuo). Além da luz visível, ondas de rádio, alguns infravermelhos e uma pequena quantidade de radiação ultravioleta também atinge a superfície da Terra a partir do espaço. Felizmente, nossa atmosfera bloqueia todo o resto, muito do que é muito perigoso, se não mortal, para a vida na Terra. Ver ilustração de todo espectro eletromagnético.



formado por ondas eletromagnéticas cujo comprimento de onda varia de 0,0007mm a 0,0004mm (vermelha ao violeta). Na verdade, nós podemos ver apenas uma parte muito pequena de toda extensão da radiação chamada de espectro eletromagnético.

Ondas eletromagnéticas de comprimentos de onda maiores ou menores que a luz vermelha e violeta, respectivamente, mesmo sendo invisíveis, também são formadas por campos elétricos e magnéticos, transversais entre si, e também viajam a velocidade da luz.

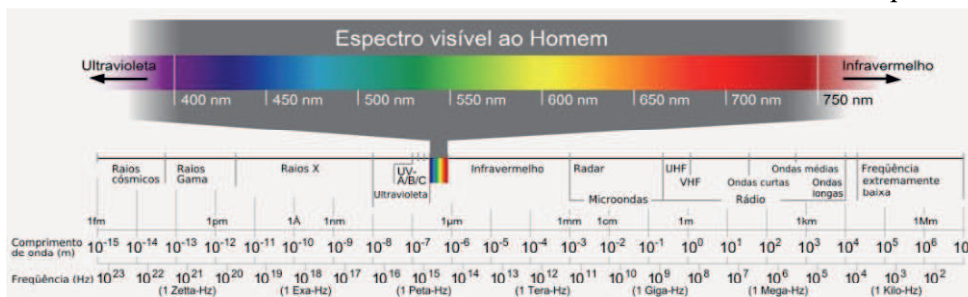
Ondas eletromagnéticas com comprimento de onda maior, portanto frequência menor do que a da luz vermelha, temos inicialmente a chamada **luz infravermelha**.

O espectro de luz infravermelha, da vermelha à micro-onda, compreende ondas com



comprimentos entre 0,0007mm a 1mm (frequências entre  $10^{14}$  Hz e  $10^{12}$ Hz). Ondas infravermelhas têm comprimentos de ondas maiores que o visível e menor

que a micro-onda, e tem frequências que são menores que a visível e maiores que a frequência



A luz visível refere-se ao conjunto de ondas capaz de provocar sensação visual num observador normal. Esse conjunto, chamado de **espectro visível** é

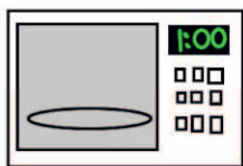
das micro-ondas. Embora só possamos ver a parte visível da luz emitida por uma lâmpada incandescente, percebemos a



sensação do calor, que é transmitido principalmente por ondas infravermelhas.

A Radiação Infravermelha é dividida em três categorias: infravermelho próximo (comprimento de onda de 0,7 a 1,3  $\mu\text{m}$ ), infravermelho médio (comprimento de onda de 1,3 a 6  $\mu\text{m}$ ) e infravermelho distante (comprimento de onda de 6 a 1000  $\mu\text{m}$ ). A Radiação Infravermelha próxima refere-se à parte do espectro infravermelho que é mais próxima à luz visível e o infravermelho distante refere-se à parte que é próxima a região de micro-ondas. Infravermelho médio é a região entre essas duas.

As micro-ondas, são ondas eletromagnéticas com frequência de aproximadamente 2,5GHz e comprimento



de onda em torno de 12cm. Ondas eletromagnéticas com comprimentos que variam de metros a quilômetros são chamadas de ondas de rádio.

Para a radiação eletromagnética com comprimento de onda menor do que

a da luz violeta, temos inicialmente a **luz ultravioleta (UV)**. Essa porção do espectro solar foi descoberta, em 1801, por J. W. Ritter. Luz com comprimento de onda menor do que a da ultravioleta define a radiação chamada raios-X, com comprimento de onda menor do que 0,00001mm. Luz com comprimentos de ondas ainda menores que os dos raios-X são os chamados raios gama, que são ondas menores do que 0,0000001mm.



Embora a natureza da radiação eletromagnética seja a mesma, das ondas de rádio aos raios gama, a interação com a matéria varia dependendo dos diferentes comprimentos da onda. Um vidro transparente para a luz visível pode ser opaco para luz infravermelha. Uma parede de tijolos pode ser opaca para a luz visível e transparente para raios-X. Uma placa de metal pode ser opaca para raios-X e transparente para raios gama.

### Qual é a relação entre comprimento de onda, frequência e energia?

A velocidade da luz é igual à frequência vezes o comprimento de onda.

$$c = \lambda \nu \quad (1)$$

Onde:  $c$  é a velocidade da luz no vácuo;  $\lambda$  é o comprimento da onda e  $\nu$  é a frequência da onda. Isto significa que a frequência é igual à velocidade da luz, dividido pelo comprimento de onda (ou seja,  $\nu=c/\lambda$ ). Uma vez que todas as ondas eletromagnéticas viajam à mesma velocidade (300000000 m/s) no vácuo, quanto menor o comprimento de onda, maior a frequência. A energia da onda é diretamente proporcional a sua frequência, mas inversamente proporcional a seu comprimento de onda. Pois,

$$E = h\nu \rightarrow E = h\frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

Onde  $h$  é a constante de Planck ( $h = 6,626 \times 10^{-34}$  J.s). Ou seja, a maior energia, ocorre em altas frequências e pequenos comprimentos de onda (em direção aos raios gama).

O índice de refração ( $n$ ) da radiação eletromagnética varia de acordo com o seu comprimento de onda. O índice de refração é dado por:

$$n = \frac{c}{v} \rightarrow n = \frac{\lambda\nu}{v} \quad (3)$$

Quanto maior o comprimento de onda, maior o índice de refração. Desta maneira, o lado vermelho (maior comprimento de onda) do espectro visível é mais refratado que o lado violeta (menor comprimento de onda).

## Um pouco mais sobre a Radiação Infravermelha?

A fonte primária de radiação infravermelha é o calor ou radiação térmica. Esta é a radiação produzida pelo movimento de átomos e moléculas em um objeto. Quanto mais alta a temperatura, e quanto mais átomos e moléculas se movem, mais radiação infravermelha eles produzem. Qualquer objeto que tenha uma temperatura, isto é, qualquer coisa acima do zero absoluto (0 Kelvin), irradia no infravermelho. Pois, o zero absoluto é a temperatura na qual o movimento atômico e molecular cessa. Mesmo objetos muito frios, tais como um cubo de gelo, emitem infravermelho. Quando um objeto não é quente o suficiente para irradiar luz visível, ele emite a maior parte de sua energia no infravermelho.

Por exemplo, carvão quente pode não emitir luz, mas emite radiação infravermelha que sentimos como calor. Quanto mais quente o objeto, mais radiação infravermelha ele emite.

Os seres humanos, em temperatura normal do corpo, irradiam mais fortemente no infravermelho, com um comprimento de onda de cerca de 10 micrômetro (micrômetro - um milionésimo de metro). A imagem ao lado mostra um gato no infravermelho. As áreas brancas



amareladas são as mais quentes e as áreas roxas são as mais frias. Esta imagem nos dá informações que não

poderíamos ter a partir de uma imagem de luz visível. Observe o nariz frio e o calor dos olhos, boca e orelhas do gato.

Alguns animais podem ver no infravermelho. Por exemplo, as cobras da família jararaca têm fendas sensoriais, que são usadas para detectar luz infravermelha. Isso permite que a cobra encontre animais de sangue quente (mesmo em tocas escuras), através da detecção do calor infravermelho que eles irradiam. Nós experimentamos a radiação infravermelha a cada dia. O calor que sentimos a partir da luz solar, um incêndio, um aquecedor ou uma calçada quente, são exemplos de radiação infravermelha. Embora nossos olhos não possam vê-la, os nervos da nossa pele podem senti-la na forma de calor. Também comumente usamos raios infravermelhos quando operamos um controle remoto de televisão. O **controle remoto** de uma

televisão, possui um LED de infravermelho em sua extremidade,



enquanto o aparelho de televisão possui um sensor desse tipo de radiação. Quando um botão do controle é acionado, um pulso de radiação infravermelha é enviado ao aparelho de televisão, que através do sensor decodifica o sinal e recebe a informação, realizando a operação desejada.

## Aplicações do Infravermelho

O desenvolvimento de diversas aplicações envolvendo radiação infravermelha em dispositivos atuais, foi possível graças ao desenvolvimento dos detectores infravermelhos (fotodetectores, termodetectores, ...) ao longo da história da ciência após a descoberta da radiação infravermelha por Herschel em 1800.

**Mas, antes das aplicações... Vamos saber um pouco mais sobre os detectores de infravermelho**

Detectores de infravermelho são geralmente usados para detectar imagem e medir os padrões da radiação térmica de calor que todos os objetos emitem. No início, o seu desenvolvimento estava ligado aos detectores térmicos, tais como os **termopares** e bolômetros, que ainda são utilizados hoje em dia e que são geralmente sensíveis a todos os comprimentos de onda do infravermelho e operam à temperatura ambiente.



O segundo tipo de detectores, chamados fotodetectores, foram desenvolvidos principalmente durante o século XX para melhorar a sensibilidade e o tempo de resposta (ROGALSKI, 2012). Estes detectores têm sido amplamente desenvolvidos desde a década de 1940. Depois da II Guerra Mundial, o desenvolvimento da tecnologia detector infravermelho foi impulsionada principalmente por aplicações militares. O avanço nos estudos sobre absorção e emissão de radiação dos materiais proporcionou o desenvolvimento de detectores

infravermelhos cada vez mais sensíveis. Deve-se destacar a crescente utilização de tecnologias de infravermelho para além do campo militar com base no uso de novos materiais e tecnologias, bem como a diminuição do preço dessas tecnologias de alto custo.

### Classificando os detectores infravermelhos!

Os detectores de IR podem ser classificados de acordo com os efeitos físicos que utilizam: energia termoelétrica (termopares), mudança na condutividade elétrica (bolômetros), absorção fundamental (fotodetectores intrínsecos), absorção de impurezas (fotodetectores extrínsecos), bem como detectores quânticos, etc.

A maioria dos detectores ópticos podem ser classificados em duas grandes categorias: fotodetectores (também chamados de detectores quânticos) e detectores térmicos.

#### Fotodetectores...

Em fotodetectores a radiação é absorvida dentro do material pela interação com elétrons, seja ligado a átomos da estrutura ou a átomos de impureza ou com elétrons livres. O resultado observado é o sinal elétrico da mudança de distribuição de energia eletrônica. Os fotodetectores mostram um determinado comprimento de onda dependendo da resposta por unidade de energia da radiação incidente. Eles apresentam uma resposta muito rápida. Mas, para conseguir isso, os fotodetectores infravermelhos requerem resfriamento criogênico. Isto é necessário para evitar a geração de portadores de carga térmica.

Dependendo da natureza da interação, os fotodetectores são divididos em diferentes tipos. Os mais conhecidos são: detectores intrínsecos, detectores extrínsecos, fotoemissivo.

O desempenho de qualquer tipo de fotodetector infravermelho é proporcional a  $(\alpha/G)^{1/2}$ , onde  $\alpha$  é o coeficiente de absorção e  $G$  é a taxa de geração térmica. Portanto,  $\alpha/G$  é a figura de mérito que pode ser usada para comparar vários materiais para detectores infravermelhos, pois determina o limite de detectividade dos dispositivos.

Os melhores fotodetectores são os que possuem alta eficiência quântica e baixa geração térmica. A eficiência quântica depende do coeficiente de absorção, espessura, coeficientes de reflexão laterais e dianteiros.

### Detectores térmicos...

Em um detector térmico, a radiação incidente é absorvida para alterar a temperatura do material e conseqüente altera alguma propriedade física, gerando uma potência elétrica. O detector é suspenso em pernas que são ligadas ao dissipador de calor. Os efeitos térmicos são geralmente independentes do comprimento de onda. O sinal depende da energia radiante (ou a taxa de alteração), mas não do seu conteúdo espectral.

Entre os detectores térmicos mais utilizados em tecnologia de infravermelho, temos: bolômetros, efeitos piroelétricos e termoelétricos. A pilha termoelétrica é um dos mais antigos detectores de IR, consiste em um conjunto de termopares ligados em série, a fim de conseguir uma melhor sensibilidade à temperatura. Nos detectores piroelétricos uma mudança na polarização elétrica interna é medida. No caso de um bolômetro, a mudança na resistência elétrica é medida. O bolômetro pode ser dividido em vários

tipos. Os mais usados são bolômetros de metal, termistor e semiconductor. Um quarto tipo é o bolômetro supercondutor. Este bolômetro opera numa transição de condutividade, em que a resistência muda dramaticamente ao longo da gama de temperaturas de transição.

Os detectores térmicos também têm sido utilizados para mapeamento infravermelho. Apesar das inúmeras iniciativas de pesquisa, a tecnologia de detector térmico tem tido um sucesso limitado em concorrência com fotodetectores para aplicações de imagens térmicas. Detectores térmicos são utilizados por organizações de combate a incêndios e serviços de emergência.

Embora tenha sido desenvolvido para aplicações militares, geradores de imagens IR de baixo custo são usados em aplicações não militares, tais como: ajuda de aeronaves, monitoramento de processos industriais, serviços comunitários, combate a incêndios, detecção de minas portátil, visão noturna, vigilância de fronteiras, aplicação da lei, busca e salvamento, monitoramento global de poluição e nas mudanças climáticas ambientais, monitoramento de processos químicos, espectroscopia no infravermelho, astronomia IR, condução de carro, imagens IR em diagnósticos médicos, entre outros.

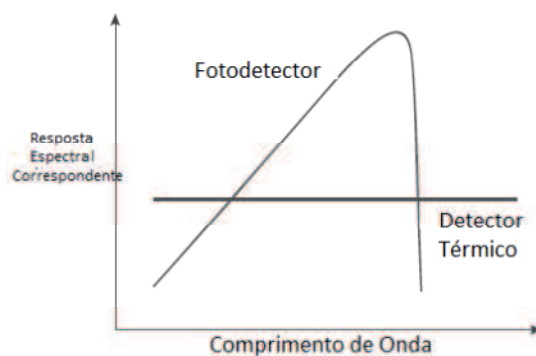


Gráfico da resposta espectral do fotodetector e do detector térmico.

## Enfim, as aplicações da radiação infravermelha!!!

Aprendemos muito sobre o mundo que nos rodeia através dos nossos olhos. Nossos olhos são detectores adaptados para detectar a luz visível. Há, no entanto, muitos outros tipos de luz - ou radiação - que não podemos ver sem o auxílio da tecnologia. O olho humano é sensível a uma pequena parcela de toda a gama de radiação do espectro eletromagnético. Para apreciar plenamente a beleza e a complexidade do mundo em torno de nós, precisamos confiar em dispositivos artificiais para fornecer visões de mundo "invisível". Os médicos utilizam raios-x para realizar diagnósticos e controladores de tráfego aéreo utilizam radares para orientar com segurança os aviões. Estes são apenas dois exemplos de como a luz invisível contribui em tecnologias atuais.



Nós usamos a tecnologia de infravermelho diariamente. Nos **computadores**, a luz infravermelha é usada para ler discos de CD-ROM. **Os caixas usam scanners infravermelhos para ler códigos de barras** padronizados sobre os produtos, agilizando o processo de check-out.



Leitor de código de barras...

O leitor de código de barras possui um laser que emite no infravermelho, as faixas pretas do código de barras absorvem, enquanto as faixas brancas refletem a radiação recebida que é decodificada por um detector infravermelho existente no leitor e transformada em um sinal elétrico que aparece na tela do computador.

A tecnologia infravermelha também é usada em sistemas de bloqueio de carro, sistemas de segurança em casas, sistemas de controle ambiental e termômetros de mão. Ao medir a temperatura do oceano a partir de satélites em órbita, o calor de uma pessoa perdida no deserto à noite, ou detectar deficiências estruturais nos sistemas elétricos e mecânicos – a luz infravermelha nos permite fazer medições remotamente sem ter que tocar os objetos que estão sendo medidos. Entre as aplicações, temos:

### **Aplicações no estudo de animais:**

Uma das maneiras mais eficientes para localizar animais

(mamíferos de sangue quente) na escuridão é procurá-los no infravermelho.

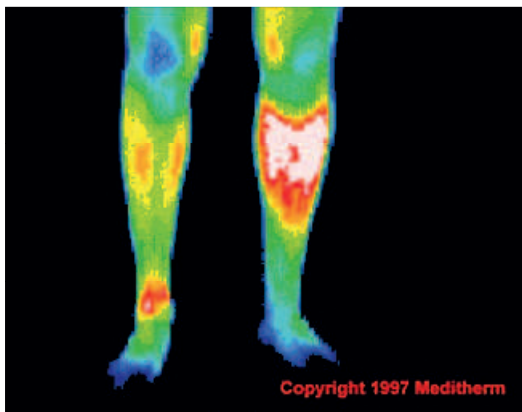
Assim como seres humanos,



animais irradiam mais luz infravermelha do que o ambiente, e, portanto, são facilmente detectados em comprimentos de onda infravermelhos. Câmeras infravermelhas são utilizadas para estudar o comportamento animal e seu movimento no escuro sem perturbar o habitat da criatura. Veterinários costumam usar imagem infravermelha para estudar a saúde dos animais e procurar lesões dos tecidos, que tendem a aquecer os músculos afetados. O uso de tais diagnósticos não invasivos reduz o estresse dos animais durante os exames

médicos e é especialmente útil quando se

**Aplicações na Medicina:** A temperatura de uma pessoa dá informações básicas sobre a sua saúde. A NASA desenvolveu um termômetro infravermelho de orelha que pode gravar a temperatura de um paciente em dois segundos. A tecnologia médica de infravermelhos é usada para a análise não invasiva de tecidos e fluidos corporais. Informações médicas sobre os ferimentos, lesões esportivas e doenças, como artrite e câncer de mama podem ser adquiridas através do estudo onde o calor é distribuído no organismo. Imagens infravermelhas são usadas para determinar a profundidade de queimaduras e para a análise do fluxo de sangue e desempenho muscular. Na imagem, temos o estudo infravermelho do fluxo de sangue nas pernas (mostrando ferimento no tornozelo direito).



**Aplicações Militares:** Aplicações militares com mapeamento infravermelho começaram desde a Segunda Guerra Mundial, o que permitiu os soldados ver no escuro. Os serviços militares usam sensores infravermelhos térmicos para localizar e rastrear alvos, para orientação

examina grandes feras.

de armas. As imagens infravermelhas também são usadas para detectar minas terrestres escondidas, e em sistemas de alerta precoce.

**Aplicações na Astronomia:** O desenvolvimento de novos detectores de infravermelho sensíveis, na década de 1950, permitiram avanços na astronomia infravermelha. Durante as últimas décadas, a astronomia infravermelha se tornou um grande campo da ciência, devido aos rápidos avanços na tecnologia de detector infravermelho. Porém, além de absorver a maior parte da radiação de infravermelhos proveniente de fontes cósmicas, a atmosfera da Terra irradia-se na região do infravermelho o que interfere com a observação de infravermelhos. É por isso que o melhor é ficar acima da atmosfera para observar no infravermelho. Para fazer isso, detectores infravermelhos são colocados em balões, foguetes e aviões, o que permite aos astrônomos estudar comprimentos de onda infravermelhos. Mesmo que estes métodos só permitam observar uma pequena parte do céu por curtos períodos de tempo, eles têm contribuído muito para a astronomia infravermelha.

**Aplicações em incêndios:** Bombeiros usam câmeras infravermelhas para localizar pessoas e animais presos em incêndios. O calor infravermelho do corpo de pessoas e animais de sangue quente pode passar direto através da fumaça densa, mostrando-se claramente em uma **câmera infravermelha**, mesmo em uma sala onde há muita fumaça para os bombeiros verem dentro.



### Como funciona a câmera infravermelha?

Todo corpo sólido, a uma temperatura acima do zero absoluto (-273 graus Celsius), emite radiação infravermelha, que possui um comprimento de onda invisível ao olho humano. Ao converter essa radiação em luz visível, alguns equipamentos permitem, por exemplo, que um observador enxergue no escuro. O princípio de funcionamento de uma câmera em infravermelho é semelhante ao do aparelho comum. A luz entra e é concentrada sobre uma placa revestida de algum metal semicondutor. Cada ponto da placa corresponde a um pixel no visor ou na tela do computador. Quando a luz incide sobre a superfície interna, ela arranca elétrons do metal, gerando um pulso de corrente, em um fenômeno conhecido como efeito fotoelétrico.

O sinal elétrico de cada um desses pontos é processado e convertido em uma imagem monocromática - as cores podem ser acrescentadas depois, de acordo com a intensidade do sinal recebido.

Partículas atômicas fazem a conversão de radiação infravermelha em luz visível:

1. A luz infravermelha entra na câmera fotográfica e incide sobre uma superfície metálica, retirando elétrons desse material.
2. Atrás da placa fotoelétrica, uma malha de sensores capta os pulsos elétricos e transmite o sinal a uma tela. Este é transformado em luz visível e compõe a imagem a partir de minúsculos pontinhos.

## Referências Bibliográficas!

DARRIGOL, O. *The history of optics: from Greek antiquity to the nineteenth century*. Oxford: University Press, 2012.

HERSCHEL, W. Experiments on the Refrangibility of the Invisible Rays of the Sun. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, v. 90, p. 284-292, 1800b.

HERSCHEL, W. Investigation of the Powers of the Prismatic Colours to Heat and Illuminate Objects; With Remarks, That Prove the Different Refrangibility of Radiant Heat. To Which is Added, an Inquiry into the Method of Viewing the Sun Advantageously, with Telescopes of Large Apertures and High Magnifying Powers. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, v. 90, p. 255-283, 1800a.

HERSCHEL, W. Experiments on the Solar, and on the Terrestrial Rays that Occasion Heat; With a Comparative View of The Laws to Which Light and Heat, or Rather the Rays Which Occasion them, are Subject, in order to Determine Whether They are the Same, or Different. Part I. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, v. 90, p. 293-326, 1800c.

HERSCHEL, W. Experiments on the Solar, and on the Terrestrial Rays that Occasion Heat; With a Comparative View of The Laws to Which Light and Heat, or Rather the Rays Which Occasion them, are Subject, in order to Determine Whether They are the Same, or Different. Part II. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, v. 90, p. 437-538, 1800d.

HILBERT, M. Herschel's Investigation of the Nature of Radiant Heat: The Limitations of Experiment. *Annals of Science*, v. 56, p. 357 – 378, 1999.

HOSKIN, M. A. William Herschel. *In: Complete Dictionary of Scientific Biography*. Disponível em: [http://www.encyclopedia.com/topic/William\\_Frederick\\_Herschel.aspx](http://www.encyclopedia.com/topic/William_Frederick_Herschel.aspx). Acessado em: 10/07/2012.

Disponível em: [http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic\\_classroom/ir\\_tutorial/hist\\_index.html](http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/ir_tutorial/hist_index.html)  
Acessado em: 13/05/2014.

Disponível em: [http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic\\_classroom/ir\\_tutorial/what\\_is\\_ir.html](http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/ir_tutorial/what_is_ir.html)  
Acessado em: 15/05/2014.

Disponível em: [http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic\\_classroom/light\\_lessons/our\\_world\\_diferent\\_light/index.html](http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/light_lessons/our_world_diferent_light/index.html) Acessado em: 15/05/2014.

LESLIE, J. *Experimental Inquiry into the Nature and Properties of Heat*, London, 1804.

LOVELL, D. J. Herschel's Dilemma in the Interpretation of Thermal Radiation. *Isis*, v. 59, n. 1, pp. 46-60, 1968.

MARTINS, R. A. O Éter e a Óptica dos corpos em movimento: a teoria de Fresnel e as tentativas de detecção do movimento da Terra, antes do experimentos de Michelson e Morley (1818 – 1880). *Cad. Bras. Ens. Fís.*, v. 29, n. 1: p. 52-80, abr. 2012.



NEWTON, I. *Opticks, or, a treatise of the reflections, refraction, and colour of light.* London, 1704; Reeditado: New York: Dover, 1952.

RING, E. F. J. Beyond Human Vision: the development and applications of infrared thermal imaging. *The Imaging Science Journal*, v. 58, DOI: 10.1179/174313110X12771950995671, p. 254-260, 2010.

ROGALSKI, A. History of infrared detectors. *Opto-Electronics Review*, v. 20, p. 279-308, 2012.

SALVETI, A. R. *A História da Luz.* 2ª Ed. São Paulo: Livraria da Física, 2008. 112p.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. “Nova teoria sobre luz e cores” de Isaac Newton: uma tradução comentada. *Revista Brasileira de Ensino de Física.* v. 18, n. 4, p. 313-327, 1996.